



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA PARA  
REALIZAR ENSAYOS DE CORROSIÓN, SEGÚN NORMA ASTM B-117 PARA EL  
LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS  
LIBERTADORES

ANTONIO FERRER CÁRDENAS

COD: 201316517602

CARLOS ALFREDO PINILLA QUEVEDO

COD: 201316510602

EVELIO RICARDO CADENA BARAHONA

COD: 201212008602

Proyecto para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO

Asesor:

Ing. Oscar Chamarraví Guerra

Fundación Universitaria Los Libertadores  
Facultad de Ingeniería, Ingeniería Mecánica  
Bogotá, Colombia

2015

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá, de noviembre de 2015

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

### **Evelio Ricardo Cadena**

A Dios por iluminarme y por darme la oportunidad de haber llegado hasta aquí, al lado de personas tan especiales e importantes en mi vida. A una persona muy especial como lo es mi esposa Gloria Belén Agudelo y Mis hijos Juan Diego Cadena y Yamid Alejandro Cadena los cuales me han acompañado en cada una de las etapas de mi preparación como profesional, A mis profesores, personas a las que respeto y aprecio y a las cuales agradezco mi formación como profesional en esta hermosa carrera.

### **Carlos Alfredo Pinilla**

Agradezco a todos aquellos maravillosos seres que han compartido junto a mí sus enseñanzas y mis logros en estos años, así como quienes han estado para darme una voz de aliento en los momentos difíciles de mi vida a mi familia, a todos los profesores por la gran colaboración prestada y enseñanzas adquiridas en mi camino para formarme como profesional.

### **Antonio Ferrer Cardenas**

Este logro ha sido posible gracias a la colaboración y el apoyo de muchas personas especiales,  
A las autoridades, personal docente y compañeros de la Facultad de Ingeniería Mecánica que compartieron su tiempo y su amistad durante mis años de estudio.  
A mis compañeros de trabajo que me dieron apoyo durante la investigación de esta Tesis de Grado.

## CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS .....	9
INTRODUCCIÓN .....	11
OBJETIVOS.....	14
OBJETIVO GENERAL .....	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
JUSTIFICACIÓN.....	15
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.4. FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	19
1.5. FORMULACIÓN DE SUBPREGUNTAS DE INVESTIGACION.....	19
2. MARCO REFERENCIAL .....	20
2.1. MARCO HISTÓRICO.....	21
2.1.1. CATÁSTROFES Y ACCIDENTES CAUSADOS POR CORROSIÓN:..	21
2.2. MARCO TEÓRICO .....	22
2.2.1. Fragilidad de los metales .....	22
2.2.2. Reacciones metal - gas.....	22
2.2.3. Sistema metal - hidrógeno .....	22
2.2.4. Daños por hidrógeno.....	24
2.2.5. Concepto de corrosión .....	25
2.2.6. Generación de zonas anódicas y catódicas .....	26
2.3. CLASIFICACIÓN DE LA CORROSIÓN SEGÚN SU MORFOLOGIA .....	26
2.3.1. Corrosión localizada.....	26
2.3.2. Corrosión en grietas .....	27
2.3.3 Corrosión intergranular .....	28
2.3.3. Corrosión bajo tensión .....	28
2.3.4. Corrosión erosiva .....	29
2.3.5. Corrosión por cavitación.....	30

2.3.6.	Corrosión por desgaste .....	30
2.3.7.	Corrosión selectiva.....	31
2.3.8.	Corrosión a altas temperaturas .....	32
2.3.9.	Corrosión filiforme .....	32
2.3.10.	Corrosión por exfoliación .....	33
2.4.	CORROSION SEGÚN EL MEDIO .....	34
2.4.1.	Corrosión química .....	34
2.4.2.	Corrosión electroquímica .....	34
2.4.3.	Fisuración y fuga de petróleo inducida por corrosión bajo tensión.....	34
2.4.4.	Explosión de tubería de transmisión de gas natural originada por corrosión interna .....	35
2.5.	PROTECCION CONTRA CORROSION:.....	36
2.5.1.	Son muchos los métodos, para los distintos grados de protección que se pretenden; los cuales en grado de importancia están: el diseño evitando puntos sensibles de ataque en la estructura, utilizando recubrimientos protectores metálicos y no metálicos, especificando materiales resistentes a la corrosión, usando protección catódica, y alterando los medios por medio de inhibidores. ....	36
2.5.2.	Medidas de defensa contra la corrosión.....	36
2.5.3.	Pinturas y barnices.....	38
2.6.	ENSAYOS DE CORROSIÓN .....	41
2.6.1.	Ensayos naturales:.....	42
2.6.2.	Ensayos de laboratorio.....	42
2.7.	Obtención de resultados en ensayos de corrosión .....	42
2.7.1.	Investigaciones microscópicas de la superficie .....	42
2.7.2.	Superficie del material .....	42
2.7.3.	Reconocimiento de defectos superficiales, grietas.....	43
2.7.4.	Determinación de las variaciones de peso .....	43
2.7.5.	Determinación de la disminución de espesor .....	43
2.8.	MARCO CONSTITUCIONAL Y LEGAL .....	43
3.	INGENIERÍA DEL PROYECTO .....	44
3.1.	DISEÑO DE LA CAMARA .....	45
3.2.	PRÁCTICAS DE LABORATORIO Y ENSAYOS DE CORROSIÓN ...	59
	Procedimiento para la puesta en funcionamiento de la cámara .....	60

3.2.1. Toma de datos del ensayo de corrosión.....	71
3.2.2. Preparación de superficies .....	72
3.2.3. Peso perdido de un material metálico debido a la corrosión: .....	72
3.2.4. Cambios en la conductividad eléctrica del material metálico: .....	72
3.2.5. Cambios en la resistencia a la tracción del material metálico: .....	72
4. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	73
5. PRESUPUESTO.....	74
6. CRONOGRAMA DE DESARROLLO DEL PROYECTO .....	85
7. CONCLUSIONES .....	86
8. RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS .....	88
ANEXOS.....	89
<b>Anexo1</b> .....	90
Figura 1 Vista Superior Del Tanque.....	90
Figura 2 Vista lateral del tanque disposición de agujeros.....	90
Figura 3 Vista Superior De Cubierta.....	91
Figura 4 Vista Probeta.....	91
Figura 5 Vista Drenaje.....	92
Figura 6 Rodachina.....	92
Figura 7 Ensamble Mueble.....	93
<b>Anexo 2</b> .....	94
Figura 1 Vista Isométrica De la cámara.....	94
<b>Anexo 3</b> .....	95
Figura 1 Vista Isométrica De Agujeros En La cámara.....	95

#### **ANEXO 4.**

Planos Impresos

**Plano 1.** Diagrama Eléctrico De Potencia

**Plano 2.** Circuito De Mando

**Plano 3.** Conjunto Cámara

**Plano 4.** Conjunto Mueble Auto Soportado

## INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Catástrofe aérea .....	21
Ilustración 2. Corrosión localizada .....	27
Ilustración 3. Corrosión por grietas .....	27
Ilustración 4. Corrosión intergranular .....	28
Ilustración 5. Corrosión bajo tensión .....	29
Ilustración 6. Corrosión erosiva.....	29
Ilustración 7. Corrosión por cavitación .....	30
Ilustración 8. Corrosión por desgaste .....	<b>¡Error! Marcador no definido.1</b>
Ilustración 9. Corrosión selectiva .....	311
Ilustracion10.corrosion altas temperaturas.....	32
Ilustración 11. Corrosión filiforme.....	333
Ilustración 12. Corrosión por exfoliación .....	333
Ilustración 13. Explosión de tubería .....	355
Ilustración 14. Principios .....	411
Ilustracion15.camara principal.....	47
Ilustracion16.mueble de soporte.....	54
Ilustracion17.sensorT.....	55
Ilustracion18.calefactores principales.....	55
Ilustracion19.calefactor tanque.....	56
Ilustracion20.Relevos.....	56
Ilustracion21.valvulas de suministro.....	58
Ilustracion22.Electro valvula.....	58



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto del cuerpo, cubierta y estructura de la cámara .....	74
Tabla 2. Presupuesto de elementos eléctricos .....	7575
Tabla 3. Presupuesto de elementos neumáticos .....	7878
Tabla4.Presupuesto de elementos hidráulicos.....	81
Tabla5.presupuesto de elementos varios.....	83

## RESUMEN

En el presente trabajo se diseñó y construyó una cámara de niebla salina para realizar ensayos de corrosión en materiales metálicos, con recubrimientos metálicos y no metálicos, en concordancia con la norma ASTM B-117-11.

En la norma anteriormente nombrada, se establecen los parámetros y condiciones para la construcción de la cámara entre las que se destacan:

- Temperatura máxima y mínima en el interior de la cámara.
- Concentración de la solución salina
- Presión de aire
- Duración del ensayo
- Angulo de la tapa
- Ubicación de las probetas
- Procedimiento de limpieza de las probetas

Para el cuerpo de la cámara se escogió acrílico de color blanco de 5mm de espesor, y para la tapa, acrílico transparente del mismo espesor. El acrílico es un material totalmente inerte frente al ambiente salino y de muy baja conductividad térmica. Se colocó un compresor libre de aceite, un filtro y regulador de presión en una unidad y un humidificador para el tratamiento del aire. Para la calefacción se instalaron siete bombillos halógenos del tipo GU-10 de 50 W cada uno controlados por un pirómetro digital que recibe señal de una termocupla tipo J. Para el calentamiento de la solución que se encuentra en el tanque auxiliar se colocó una resistencia sumergible también de 50 W con un termostato incorporado en el cuerpo de ésta. Para los diferentes depósitos de agua y de solución salina se utilizaron recipientes plásticos diversos. El tiempo se controla con un temporizador digital. Para el control de nivel de los líquidos se utilizaron 2 electroválvulas activadas por sensores magnéticos del tipo “reed swich”

Al final de la construcción del equipo, se programó un ensayo de prueba de 48 horas después del cual se obtuvo información sobre el funcionamiento de la cámara y se establecieron los procedimientos para el manejo al inicio del ensayo, durante el proceso y la limpieza al final, así como el ajuste de presiones, caudales y diferentes parámetros de funcionamiento.

Por último pero no menos importante, se espera que el equipo sea de gran utilidad para los alumnos de ingeniería de la Fundación Universitaria Los Libertadores.

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto de investigación tiene como finalidad primordial, buscar la realización del diseño más idóneo para llevar a cabo la fabricación de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión en materiales metálicos en donde se puedan desarrollar prácticas con el propósito de que los alumnos de las carreras profesionales de ingeniería mecánica e ingeniería aeronáutica de la Fundación Universitaria Los Libertadores puedan efectuar sus actividades, talleres y prácticas de laboratorio en las asignatura de corrosión y otras, de tal manera que el estudiante pueda conocer sus capacidades para disponer del conocimiento, descubrir sus aptitudes, incrementar las habilidades y demostrar su actitud ante el futuro entorno laboral y profesional en el que se tendrá que desempeñar, y en las situaciones donde se requiera la aplicación de los principios de la corrosión como son las diversas estructuras y equipos metálicos como puentes, torres, tanques y en general piezas y elementos de maquinaria. Para esto, se hace necesario que el estudiante aplique sus conocimientos técnicos, adquiera experiencia, y una forma organizada de trabajo, que en gran parte se consigue con el desarrollo de prácticas de laboratorio y por supuesto, del aprendizaje en el aula que se logra a lo largo del estudio de su carrera.

Para lograr desarrollar un diseño y fabricación exitosa de la cámara de niebla salina, las primeras tareas que se deben realizar son la recopilación de una serie de prácticas y actividades concretas, pertinentes y objetivas que se pretende que realicen los estudiantes, enmarcadas dentro de la normatividad vigente, y a continuación efectuar la lista de los dispositivos y componentes que deben conformar el equipo para satisfacer las prácticas mencionadas así como algunos cálculos básicos con el fin de efectuar el dimensionamiento y la posterior selección de los elementos y accesorios de acuerdo a una serie de características que deben cumplir con diversas condiciones técnicas, enmarcadas dentro de la normatividad vigente, que ante todo se refieren a su compatibilidad, versatilidad, funcionalidad, eficiencia y eficacia, resistencia mecánica, química y térmica entre otras, además que todos los elementos utilizados sean de marcas reconocidas que garanticen una calidad y sean de fácil consecución en el mercado nacional, con el menor costo posible y adicionalmente cumpliendo las exigencias que provienen del ámbito laboral que demanda profesionales de carreras como las ingenierías mecánica y aeronáutica.

Es importante tener presente la fundamentación teórica que debe tener el estudiante en lo que respecta a los conocimientos básicos generales, principios y leyes que gobiernan la química y los fenómenos de corrosión que se pretenden estudiar, la descripción y el funcionamiento de cada uno de los elementos que conforman el equipo, así como un conocimiento básico de electricidad, neumática, termodinámica y su aplicación en los diferentes componentes del equipo.

Con la implementación y desarrollo de prácticas de laboratorio, los alumnos, a través de la cámara, logran incrementar sus conocimientos en el estudio de la corrosión y el uso de sus implementos y herramientas, confrontando de ésta manera la teoría con la práctica. Esto es de suma importancia, debido a que la corrosión es sin lugar a dudas uno de los fenómenos más comunes y de mayor impacto en los muy diversos equipos, elementos, piezas y objetos que se utilizan a diario, no solamente en la industria, sino también a nivel cotidiano, por lo que un ingeniero de las áreas de mecánica o aeronáutica debe manejar con especial acierto los conceptos fundamentales de la ciencia de los fenómenos químicos de la corrosión y aplicarlos con destreza.

En el presente trabajo se desarrollan los planos de diseño de la cámara de niebla salina, acompañados por un manual para dar un uso apropiado al equipo y unos talleres básicos sugeridos.

En concordancia con todo lo anteriormente expuesto surge el interrogante ¿Cómo debe ser el diseño de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión en materiales metálicos que permita la realización de prácticas de laboratorio y diversos estudios con el fin de facilitar la adquisición y refuerzo de conocimientos y desarrollar habilidades prácticas en las asignaturas de corrosión?

Las actividades de investigación que se plantean, se mueven en torno a solucionar dicho cuestionamiento, lo cual nos lleva a su vez a concebir un objetivo que no es otro que el de diseñar y fabricar una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión en materiales metálicos, la cual debe permitir llevar a cabo diferentes prácticas de laboratorio que permitan fortalecer las competencias prácticas en las áreas de química y corrosión, por lo que de lo anteriormente dicho se puede entender que es posible plantear una hipótesis en el sentido de examinar un conjunto de componentes, elementos, aparatos y dispositivos básicos como son el chasis, el cuerpo de la cámara, los interruptores tripolares, contactores, relés térmicos, motores, bombas relevos, temporizadores, sensores y detectores, pulsadores, selectores, pilotos y otros para saber si pueden ser aptos para el montaje en el equipo que si bien no deben ser de gran complejidad, si han de ser correspondientes con la necesidades básicas generales de resistencia mecánica, química, térmica y de los parámetros que se requieren controlar como son la temperatura, humedad,

PH, niveles de la solución y otros que permitan lograr un equipo apropiado con el que los futuros ingenieros se podrían encontrar y debe ser suficiente para que el alumno pueda aplicar los conocimientos teóricos de corrosión y adquirir y fortalecer las competencias prácticas que abarcan los saberes pertinentes dentro de su formación.

Reviste especial importancia afirmar que el uso de la cámara incrementa en el estudiante sus capacidades y conocimientos al relacionar todos conceptos dados en el aula de clase y contrastarlos con los datos obtenidos en las prácticas, y por supuesto también es posible adquirir las competencias bien sean prácticas, interpretativas, argumentativas o propositivas al tener éste que enfrentarse con un conjunto de talleres y prácticas diversas que pueden ser desarrolladas con ayuda del equipo, haciendo gala de su inventiva, coherencia y capacidad en la resolución de problemas cercanos a la realidad.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y fabricar una cámara de niebla salina para realizar ensayos de corrosión en materiales metálicos, según norma ASTM B-117-11. para el laboratorio de materiales de la fundación universitaria los libertadores.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Como objetivos específicos se consideran los siguientes:

- Diseñar la cámara de niebla salina de acuerdo con la normatividad vigente y específicamente con la norma ASTM B-117-11.
- Realizar los planos y selección de los elementos adecuados para la fabricación de la cámara de niebla salina para realizar ensayos y prácticas de corrosión en materiales metálicos.
- Seleccionar de forma adecuada los materiales que se requieren para fabricar una cámara de niebla salina, didáctica, segura, versátil, funcional y robusta.
- Construir la cámara de niebla salina.
- Diseñar un manual de uso y operación del equipo que permita a los estudiantes y monitores operarlo con seguridad de forma eficiente y segura

## JUSTIFICACIÓN

En la actualidad en nuestro país y más específicamente en las grandes ciudades, aunque también a nivel rural ha cobrado especial relevancia la formación del capital humano en un sinnúmero de áreas técnicas, tecnológicas y universitarias, en donde las diversas entidades e instituciones que prestan estos servicios se han visto enfrentadas al desafío, de, atraer la atención y seducir a los futuros alumnos. De otro lado un gran número de universidades que brindan programas profesionales, han también incursionado en la asesoría y en la prestación de diversos servicios a la industria.

Cuando un alumno egresado de la educación media, debe escoger alguna institución de educación superior para cursar una carrera ya sea técnica, tecnológica o profesional, reviste especial importancia su reconocimiento, trayectoria, prestigio, como también, su infraestructura e instalaciones teniendo en cuenta dentro de ella los laboratorios y talleres que posea.

La Fundación Universitaria Los Libertadores con más de 40 años de experiencia en la formación de profesionales Universitarios debe recurrir a esa larga trayectoria y experiencia para lograr atraer la atención del caudal de bachilleres que semestralmente demandan una entidad donde profesionalizarse, pero debe hacer valer esa preeminencia que le origina el largo camino recorrido en su quehacer formativo, con unos laboratorios y talleres especialmente proyectados e ideados con la particularidad de incrementar y facilitar la adquisición de competencias teórico-prácticas y fortalecer la preparación para el mercado laboral, todo lo anterior encuadrado desde los puntos de vista argumentativos, propositivos e interpretativos, del futuro profesional en las carreras de ingeniería mecánica y aeronáutica.

De esta manera, el trabajo presente contiene una serie de elementos que pueden darle finalmente a la Fundación Universitaria Los Libertadores un equipo para desarrollar prácticas de corrosión, el cual una vez sea fabricado y comience a ser utilizado, debe permitir la adquisición y el fortalecimiento de las competencias prácticas de análisis y argumentativas en los estudiantes de las asignaturas de corrosión. Así mismo poder ofrecer a la industria, servicios como análisis y estudios de corrosión.

## **1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En la ardua tarea de formación y capacitación de un ingeniero, inmerso en un medio laboral cada vez más competitivo, es imprescindible que se prepare al estudiante con habilidades enmarcadas dentro del conocimiento y del saber hacer, saber expresar y argumentar, saber interpretar. Para poder cumplir con éste preferencial cometido, se deben entrelazar en forma consecuente y coordinada la teoría con la práctica, por medio de unidades, equipos y dispositivos que permitan el desarrollo de talleres teórico-prácticos de diferente complejidad, lo más cercanos a la realidad, que tengan aplicabilidad en el ámbito laboral y que además signifiquen un reto para el estudiante, acorde con su nivel de conocimiento.

### **1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cómo debe ser diseñada y fabricada una cámara de niebla salina para realizar ensayos de corrosión en materiales metálicos, que permita la ejecución de talleres y prácticas, con el fin de facilitar la adquisición de competencias y el desarrollo de habilidades prácticas por parte de los estudiantes de ingenierías en las áreas de química y corrosión de la Fundación Universitaria Los Libertadores?

### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La corrosión es un fenómeno donde hay una interacción entre un metal y el medio ambiente circundante, que produce una degradación progresiva del elemento y un cambio en sus propiedades tanto físicas como químicas. Ahora bien, el estudio de la corrosión, es relativamente nuevo. Sin embargo, imaginemos solo por un momento que sería de nosotros de no tener en nuestras manos el conocimiento de éste fenómeno sabiendo que grandes estructuras como puentes, torres y rascacielos están contruidos en un gran porcentaje o inclusive totalmente con materiales metálicos.

Esto simplemente nos conduce a reconocer sin ninguna discusión que la corrosión desempeña un papel preponderante en nuestra vida diaria, y a nivel industrial, todos los elementos metálicos de las máquinas y equipos están permanentemente sometidos a éste fenómeno.



Dicho todo lo anterior, ahora podemos abordar el contexto de nuestro país, el cual debido a la globalización y otros factores, se ha visto necesariamente influenciado por los avances de la ciencia y la tecnología. Las grandes empresas nacionales y multinacionales que llegan al país en su natural crecimiento y expansión, recurren a la importación de maquinaria y equipos con tecnologías innovadoras que exigen un personal calificado para manejar a los nuevos dispositivos.

Casi ninguna industria posee un conjunto de unidades, o sistemas dedicados a la enseñanza y entrenamiento a nivel de sus empleados, y por esto la gran mayoría opta por enviar al personal a capacitarse en algún centro, o le exigen al futuro empleado documentos que certifiquen un conocimiento mínimo de los principios y fundamentos básicos en corrosión si es del caso y su aplicación práctica.

Como consecuencia de lo anterior las instituciones de educación superior a nivel profesional, deben tener talleres y laboratorios lo suficientemente dotados y actualizados para cumplir con el tipo de formación que la industria requiere, ya que si hay una mejor capacitación, también son mejores las posibilidades de obtener un mejor empleo. Como se puede advertir un equipo que permita el enlace de la teoría con la práctica y admita su confrontación, es realmente muy importante para el desarrollo del estudiante, y un equipo que permita realizar prácticas es el aliado perfecto para el desarrollo de las competencias que exige el mundo industrial en la actualidad.

Adicionalmente, muchas empresas capacitan a una buena cantidad de sus trabajadores en el exterior, a no ser que la infraestructura educativa nacional les pueda suministrar el talento humano que requieren, con las competencias para que puedan abordar el entendimiento de los diferentes fenómenos y leyes físicas y químicas así como el manejo de sus equipos.

Otro aspecto importante que amerita ser mencionado es el de la evaluación que realiza el estado a nivel nacional para los egresados en todas las carreras; de obligatoriedad para todos los graduandos, si pena de no poder obtener su título académico, hoy en día representadas por las pruebas Saber Pro y establecida por el organismo rector el ICFES, el cual define el concepto de competencia como “la capacidad de saber – hacer en un contexto determinado”.

Los egresados de la educación superior a nivel profesional están siendo evaluados desde varias dimensiones como son las interpretativas, argumentativas y propositivas, dentro del contexto del saber hacer, saber expresar, saber argumentar que busca “una acción concreta sobre y frente a problemáticas específicas en el campo de formación”. Como consecuencia inmediata deben existir elementos y mecanismos que permitan dentro del currículo, el poder brindarle a los estudiantes estas competencias básicas para su buen desempeño

laboral en la industria, y académico frente a las pruebas y evaluaciones nacionales. Sobre esto último vale la pena recordar que unos buenos resultados obtenidos en las pruebas Saber Pro dan prestigio a la institución y la consolidan en el entorno educativo.

También se hace necesario decir que una cámara de niebla salina permitiría la comprensión y desarrollo del conocimiento por parte del alumno e inclusive poder ofertar estudios y análisis de corrosión a la industria nacional. Un conjunto de elementos y dispositivos dispuestos de forma coherente permitirían obtener un equipo en donde se pudieran llevar a cabo diversas prácticas, desde las más sencillas y básicas hasta otras con alguna complejidad pero todas ellas fundamentales en la comprensión final de los principios físico- químicos que rigen la corrosión y puntualmente en el contexto de la industria.

### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Enmarcada dentro de la labor docente, en las carreras profesionales que ofrece la Fundación Universitaria Los Libertadores en las carreras de ingeniería mecánica y aeronáutica, la parte práctica es muy significativa, y en algunas asignaturas específicas que hacen parte de la instrucción, en los programas antes mencionados, surge el cuestionamiento de ¿cuál debe ser la unidad o módulo procedente para la adquisición de los conocimientos propios y los saberes pertinentes?; todo esto sin llegar a cometer el error de diseñar un equipo que sea muy sofisticado y costoso y que además resulte más apropiado para una formación a nivel de un especialista, como tampoco que sean una serie de aparatos y dispositivos que no le otorguen al alumno las condiciones apropiadas de aprendizaje y formación conveniente que debe tener el futuro ingeniero.

Por todo lo anterior es que nuevamente surge la pregunta: ¿Cómo debe ser diseñada una cámara de niebla salina para la realización de ensayos de corrosión. que permita la realización de talleres con el fin de facilitar la adquisición de competencias y el desarrollo de habilidades prácticas y aplicación de la fundamentación teórica en las carreras de ingenierías mecánica y aeronáutica en la Fundación Universitaria Los Libertadores? Esta es una pregunta que resulta totalmente legítima y que se aspira llegar a solucionar en éste trabajo investigativo.

#### **1.4. FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

Puesto de manifiesto el problema, la pregunta de investigación para el presente proyecto se formula así:

¿Cómo debe ser diseñada una cámara de niebla salina para la realización de ensayos de corrosión que permita la realización de talleres con el fin de facilitar la adquisición de competencias y el desarrollo de habilidades prácticas y aplicación de la fundamentación teórica en las carreras de ingenierías mecánica y aeronáutica en la Fundación Universitaria Los Libertadores?

#### **1.5. FORMULACIÓN DE SUBPREGUNTAS DE INVESTIGACION**

- Cuáles son los planos y cálculos óptimos que se deben tener en cuenta en la fabricación de la cámara de niebla salina para realizar ensayos y prácticas de corrosión en materiales metálicos
- Cuál es la normatividad vigente que rige y controla el diseño y la fabricación de la cámara de niebla salina para realizar ensayos y prácticas de corrosión en materiales metálicos.
- Que materiales son los apropiados para fabricar la cámara de niebla salina para realizar ensayos y prácticas de corrosión en materiales metálicos.
- Como construir una cámara de niebla salina.
- Como diseñar un manual de prácticas que facilite a los estudiantes realizar ensayos de corrosión de una forma óptima y sencilla.

## 2. MARCO REFERENCIAL

Debido a las grandes pérdidas especialmente económicas que produce la corrosión, es muy importante determinar el material que debe ser usado en un ambiente corrosivo. Desde que la prueba de niebla salina fue desarrollada en 1914 por el entonces director de la “National Bureau of standards” el Ingeniero J.A. Capo, el cual reprodujo los efectos reales pero de una forma acelerada, el ensayo ha cobrado especial importancia y también dedujo que el agua de mar pulverizada corroía más rápido que el agua de mar en condiciones normales.

La norma ASTM B-117-11 fue desarrollada en el año 1939 y en la década de los cuarenta la cámara para ensayos salinos fue ampliamente usada y aunque se presentaron algunos problemas, ya que ciertos usuarios comentaban que los resultados arrojados por los ensayos, estaban sujetos a la interpretación que cada uno le quisiera dar, fue después de la finalización de la segunda guerra mundial, que la prueba se modificó en 1955.

En la década de los 50 aparece otro problema debido a que los ensayos no eran reproducibles; entonces la ASTM “American Society for Testing and Materials” y diversos grupos industriales se dedicaron a hacer estudios para eliminar este problema y fue cuando se encontraron, que al realizar pruebas en parachoques de automóviles y partes plateadas habían diferencias de 22 a 296 semanas, con materiales de las mismas características. Debido a los resultados obtenidos se concluyó que la prueba de niebla salina era imprecisa en partes cromadas.

La “Copper Accelerated Salt Spray Test (CAAS)” Fue desarrollada y adoptada por la ASTM para ensayos de partes Cromo – plateadas de aleaciones de Zinc. Ya que se ratificó que la prueba de niebla salina no reproduce los mismos resultados para este tipo de recubrimientos, algo similar ocurrió con los ensayos hechos a piezas fabricadas en aluminio y superficies pintadas.

la norma ASTM B117-11 no cumple con la reproducción de los ambientes naturales, ya que las probetas (especímenes) de prueba, están constantemente húmedos, sin pasar por ciclos secos. Estos eventos no se dan en el campo real, y adicionalmente la temperatura de la cámara es constante y demasiado elevada, el cloruro contenido en la sustancia salina es muy alto e impide que el zinc forme una película pasiva, lo que conlleva a que las condiciones dentro de la cámara sean muy severas y que rara vez ocurran en el campo.

A pesar de los innumerables ensayos que se han hecho y evaluaciones a diversas pruebas, así como diferentes modificaciones, el ensayo de niebla salina, según norma ASTM B-117-11 es considerado de gran ayuda en el sector industrial y

científico, determinando el comportamiento de los metales en ambientes corrosivos y logrando de esta manera cuantificar su resistencia a la falla.

En el desarrollo científico se ha podido identificar, en que materiales metálicos los resultados son reproducibles y en que materiales no es fiable la prueba, por lo que la norma ASTM B-117-11 enuncia los materiales en que se puede aplicar el ensayo de niebla salina.

## **2.1. MARCO HISTÓRICO**

### **2.1.1. CATÁSTROFES Y ACCIDENTES CAUSADOS POR CORROSIÓN:**

A 7.300 metros de altitud sobre el océano Pacífico, el segmento del fuselaje que cubría la parte delantera del avión se desprende y sale volando. Los pasajeros, de repente, se hallan sentados al aire libre. Una azafata, que está sirviendo bebidas en dicho momento, es arrebatada del avión y cae al vacío. Su compañera sólo logra salvarse porque los pasajeros, sujetos por los cinturones de seguridad, la retienen con todas sus fuerzas. El capitán, Robert Schornstheimer, consigue aterrizar un cuarto de hora más tarde, con su avión convertido en un descapotable, en la isla de Maui, Hawaii. La mayoría de los 90 pasajeros resultaron heridos pero todos sobrevivieron. Posteriormente los especialistas señalaron a grietas producidas por la corrosión y la fatiga del metal como culpables de un accidente que estuvo a punto de derivar en una catástrofe como se ve en la ilustración 1.

**Ilustración 1. Catástrofe aérea**



**Fuente:** [www.google.com.co/search?q=imagenes+de+corrosion+en+catastrofes+aereas&b](http://www.google.com.co/search?q=imagenes+de+corrosion+en+catastrofes+aereas&b)

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Fragilidad de los metales**

Se puede definir como un estado anormal del material caracterizado por una reducción de área y el alargamiento durante el ensayo de tensión, lo cual conlleva a una rotura quebradiza en situaciones reales.

Con el ensayo de impacto se estudia el comportamiento frágil causado por bajas temperaturas en ciertas aleaciones y específicamente en aceros. Además pueden causar este comportamiento un estado de esfuerzos triaxiales y la aplicación de cargas bruscas como también el trabajo en frío, la presencia de ciertos gases, el bajo punto de fusión de una de las fases y la más importante la concentración de impurezas en los límites del grano, las cuales forman una película envolvente frágil.

### **2.2.2. Reacciones metal - gas**

Los metales en presencia de un gas interactúan de diferente forma de acuerdo con algunas condiciones de afinidad química, térmica de estado. Estas interacciones pueden ser: adsorción, absorción y reacción química.

- Adsorción: Consiste en la fijación de átomos en la superficie metálica, debido a fuerzas de Van der Waals y se efectúa a temperaturas bajas. Es la adquisición por la estructura de átomos de la especie gaseosa por medio de la difusión o sea el movimiento atómico en el estado sólido; en el caso de átomos pequeños como los de los gases, dicha difusión se efectúa a través de espacios intersticiales.
- Reacción química: Es la formación de compuestos tales como nitruros, hidruros y carburos. En ciertos tratamientos térmicos se busca la formación de estos compuestos en la superficie, los cuales son muy duros pero de alta fragilidad. Generalmente su formación es a altas temperaturas.

### **2.2.3. Sistema metal - hidrógeno**

Por ser este un átomo pequeño puede penetrar en retículos cristalinos metálicos fácilmente, siguiendo espacios intersticiales. Estos espacios son grandes en estructuras abiertas como la BCC y mucho más estrechos en estructuras compactas como la FCC y HCP. En ciertos procesos se produce hidrógeno atómico o nascente, y en este estado no solo se difunde sino que también

reacciona con más hidrogeno para formar hidrogeno molecular, o con los metales formar hidruros, lo cual puede llegar a ser perjudicial para el acero que lo contiene.

La adquisición de hidrogeno se hace muy perjudicial en hierros, por lo cual a continuación se explican brevemente algunos procesos:

- Solidificación: Al solidificar el acero, el hidrogeno en forma molecular puede quedar atrapado originando poros y cavidades, pero también puede quedar en forma atómica dentro de los cristales; el gas es obtenido por la descomposición del agua o aceites en contacto con el metal fundido.
- Decapado: Es una limpieza química que se hace atacando la superficie con ácido sulfúrico o clorhídrico para quitar la capa de óxido con una reacción de oxidación. Cualquier recipiente o tubo en contacto con ácidos puede ganar hidrogeno y quedar con una potencial fuente de falla; en todos estos procesos la mayor parte del gas forma la molécula y escapa en forma de burbuja.
- Electro plateado: Son los procesos para dar recubrimientos electrolíticos, en los cuales el electrón ion en solución pasa al cátodo, gana electrones y se deposita en la superficie que se va a proteger. En estos casos también el hidrogeno reacciona, se descompone con el N atómico y se difunde dentro del metal en una buena cantidad, antes de formar la burbuja.

Los procesos de electro plateado mencionados se denominan cobrizado, niquelado, cromado etc.

- Soldadura: El proceso de soldadura con electrodo recubierto genera alta cantidad de hidrogeno en la atmosfera que rodea la operación, especialmente cuando el recubrimiento es del tipo celulosa o rutilo. Además ciertos componentes de los recubrimientos son higroscópicos, es decir que adquieren agua del medio ambiente en presencia del arco se descompone produciendo el hidrogeno libre que es el absorbido por el metal líquido.

El hidrogeno es un problema especialmente grave al soldar aceros de medio y alto carbono, y al estar presente el gas, es más probable la aparición de grietas. Al soldar estos aceros se hace necesario precalentar la zona de soldadura a temperaturas que dependen del contenido de carbono, se deben utilizar electrodos de bajo hidrogeno y evitar mediante el enfriamiento lento la aparición de martensita.

- Oxidación: La simple oxidación del hierro en medio húmedo también es una fuente de hidrogeno atómico en la superficie del metal. Cuando se tiene un metal con hidrogeno este se puede extraer mediante un calentamiento cercano a los 200° C, permitiendo así la difusión del hidrogeno hacia la superficie.

#### **2.2.4. Daños por hidrógeno**

Existen diferentes formas en que el hidrogeno actua en los metales, todas en forma dañina para las propiedades de las piezas, este comportamiento depende de factores como esfuerzos, temperatura, presión, y especialmente la estructura y dureza del acero. Los daños del hidrogeno en los hierros y aceros se pueden resumir en cuatro formas: descarburización, ampollamiento, copos y fragilidad.

- Descarburización: Es la perdida del contenido en carbono de la superficie de una pieza debido a altas temperaturas. En el manejo de hidrogeno a altas presiones en medio húmedo y a temperaturas de 200°C o más. Se producen fallas inesperadas en algunos equipos; estas condiciones se encuentran en plantas de producción de amoniaco y en general en fábricas de abonos y urea.

El metano producido precipita en los límites del grano y alcanza tan altas presiones que produce microgrietas por lo cual el material falla; la descarburización avanza desde los límites del grano hacia el centro de los nódulos de perlita. Las aleaciones con cromo molibdeno y níquel aumenta la resistencia a esta clase de descarburización, y al reducir la humedad también disminuye este fenómeno.



- Ampolla miento: Cuando las piezas resultan con hidrogeno este puede emigrar a defectos presentes en el metal y reaccionar para formar la molécula de  $H_2$ , alcanzando a producir presiones altas. Este efecto consiste en un abultamiento del material, dejando una gran cavidad interna en forma lenticular, que se conoce con el nombre de ampolla miento o sopladura.
- Copos: En ciertos casos, tratándose especialmente de partes forjadas o laminadas de acero de medio y bajo carbono, al fallar la pieza se encuentra que previamente a la fractura se han producido unas grietas internas, brillantes y de forma redondeada, estas grietas se deben a que el hidrogeno se difunde en forma atómica hacia un defecto, lo cual hace que la presión aumente y se formen micro grietas lo que hace que se produzca la falla del material.
- Fragilidad: Este es quizá el más grave de los defectos ocasionado por el hidrogeno. Cuando el acero está cargado de hidrogeno y se encuentra sometido a esfuerzos estáticos, presenta una baja considerable en la resistencia a la tensión y se produce una fractura frágil, es decir sin alargamiento ni reducción de área. El hidrogeno causa fragilidad al acero en todas sus estructuras, es decir ferrita, perlita, martensita, bainita etc.

#### **2.2.5. Concepto de corrosión**

Se define como el deterioro que sufren los metales cuando interactúan con el medio en el que trabajan. Las características fundamentales de este fenómeno, es que solo ocurre en presencia de un electrolito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas estas anódicas y catódicas. Una reacción de oxidación es denominada anódica, en la cual los electrones son liberados y se dirigen a las regiones catódicas, en la región anódica se producirá la disolución del metal (corrosión) y posteriormente en la región catódica la inmunidad del metal.

### **2.2.6. Generación de zonas anódicas y catódicas**

Las diferencias de potencial que dan origen a las zonas anódicas (con menor potencial de reducción) y catódicas (con menor potencial de oxidación) pueden generarse por distintas causas, algunas de las cuales se describen a continuación:

**Inhomogeneidades en la pieza metálica:** Puntos de soldadura, remaches o tornillos.

**Cuerpos aparentemente homogéneos:** Diferencias de tensiones mecánicas, diferencias de orientación de la red cristalina respecto de la superficie.

**Inhomogeneidades en el medio agresivo:** Diferencia de aireación.

**Cuerpo sometido a diferencia de potencial de origen externo:** Corrientes parasitas.

## **2.3. CLASIFICACIÓN DE LA CORROSIÓN SEGÚN SU MORFOLOGIA**

Corrosión uniforme: Esta se caracteriza por una reacción química o electroquímica que actúa uniformemente sobre toda la superficie del material expuesto a la corrosión. El deterioro uniforme representa la mayor destrucción de los metales.

### **2.3.1. Corrosión localizada**

Corrosión por picadura: Es una forma de ataque corrosivo que produce pequeños agujeros en el metal. Este tipo de corrosión resulta muy destructivo para las estructuras de ingeniería si provoca perforación del metal. Sin embargo si no se produce se podría llegar a aceptar una mínima picada, frecuentemente resulta difícil detectar este tipo de corrosión debido a que los pequeños agujeros pueden ser tapados por los productos de la corrosión.

Así mismo el número y la profundidad de los agujeros puede llegar a variar y por eso la extensión del daño producido por la picadura se hace difícil de evaluar. Este tipo de corrosión puede tardar meses o años para perforar una sección metálica, la mayoría de los agujeros se desarrollan y crecen en la dirección de la gravedad y sobre las superficies más bajas de los equipos de ingeniería como se ve en la ilustración 2.

### **Ilustración 2. Corrosión localizada**



**Fuente:** <http://dearkitectura.blogspot.com.co/2011/12/que-es-la-oxidacion-de-los-metales-la.html>

### **2.3.2. Corrosión en grietas**

Es una forma de corrosión electroquímicamente localizada que puede presentarse en hendiduras y bajo superficies protegidas, donde pueden ubicarse soluciones estancadas.

Este tipo de corrosión tiene una gran importancia ya que su presencia es frecuente bajo juntas, remaches, pernos y tornillos, entre válvulas, bajo depósitos porosos y lugares similares. La corrosión en grietas como se ve en la ilustración 3, se produce en muchos sistemas de aleaciones como el acero inoxidable y aleaciones de titanio, aluminio y cobre.

### **Ilustración 3. Corrosión por grietas**



**Fuente:** [www.google.com.co/search?q=imagenes+de+corrosion+por+grietas&biw](http://www.google.com.co/search?q=imagenes+de+corrosion+por+grietas&biw)

### 2.3.3 Corrosión intergranular

La corrosión intergranular es un deterioro por corrosión localizada y/o adyacente a los límites del grano de una aleación. Si un metal se corroe uniformemente, los límites del grano serán solo ligeramente más reactivos que la matriz. Sin embargo, bajo otras condiciones, las regiones del límite del grano pueden ser muy reactivas, resultando una corrosión intergranular que origina pérdida de la resistencia de la aleación e incluso la desintegración de los bordes del grano. Este tipo de corrosión como se ve en la ilustración 4, se puede evidenciar en los aceros inoxidables austeníticos cuando son calentados o enfriados lentamente a través del rango de temperaturas de 500 a 800° C. donde se pueden precipitar las interfaces del límite del grano.

Ilustración 4. Corrosión intergranular



Fuente: [http://www.corrosionclinic.com/types\\_of\\_corrosion/intergranular\\_corrosion\\_cracking.htm](http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/intergranular_corrosion_cracking.htm)

### 2.3.3. Corrosión bajo tensión

La rotura por corrosión por esfuerzo o bajo tensión se refiere a la rotura originada por la combinación de efectos de tensiones intensas y corrosión específica que actúa en el entorno del metal. Los esfuerzos residuales que dan lugar a la SCC (**stress corrosion cracking**) pueden ser resultado, por ejemplo, de esfuerzos térmicos introducidos por tasas desiguales de enfriamiento, de un diseño mecánico defectuoso para esfuerzos, de transformaciones de fase durante el tratamiento térmico durante el trabajo en frío, o durante la soldadura.

**Ilustración 5. Corrosión bajo tensión**



Fuente: [http://www.labtesa.com.ar/causa\\_fallas6.htm](http://www.labtesa.com.ar/causa_fallas6.htm)

#### **2.3.4. Corrosión erosiva**

Puede ser definida como la aceleración en la velocidad del ataque corrosivo al metal debida al movimiento relativo de un fluido corrosivo y una superficie del metal. Cuando el movimiento del fluido corrosivo es rápido, los efectos del desgaste mecánico y abrasión pueden ser severos. Este tipo de corrosión se caracteriza por la aparición en la superficie del metal de surcos, valles, hoyos, agujeros redondeados y otras configuraciones dañinas de la superficie del metal. Las cuales se presentan en la dirección de avance del fluido corrosivo como se ve en la ilustración 6.

**Ilustración 6. Corrosión erosiva**



Fuente: <http://losmetalesblosp.blogspot.com.co/2015/03/la-corrosion-y-los-metales.html>

### 2.3.5. Corrosión por cavitación

Es causado por la formación e implosión de burbujas de aire o cavidades llenas de vapor, de un líquido que se encuentra cerca de la superficie metálica. La cavitación ocurre en la superficie de un metal donde el líquido fluye a gran velocidad y existen cambios de presión, como por ejemplo en impulsores de bombas y propulsores de barco. La cavitación puede incrementar la velocidad de corrosión y originar desgastes superficiales como se ve en la ilustración 7.

**Ilustración 7. Corrosión por cavitación**



**Fuente:** <http://www.widman.biz/Seleccion/refrigerante.html>

### 2.3.6. Corrosión por desgaste

Este tipo de corrosión tiene lugar en las interfaces entre materiales bajo carga, sometidos a vibración y deslizamiento. En este caso se observa que los fragmentos del metal entre las superficies rozadas están oxidados y algunas capas de óxido se encuentran disgregadas por la acción del desgaste, como resultado de esto se produce una acumulación de partículas de óxido que actúan como un abrasivo entre superficies con un ajuste forzado.



### **Ilustración 8. Corrosión por desgaste**



**Fuente:** [http://www.elsol.com.bo/index.php?cat=369&pla=3&id\\_articulo=46451](http://www.elsol.com.bo/index.php?cat=369&pla=3&id_articulo=46451)

### **2.3.7. Corrosión selectiva**

Es la eliminación selectiva de un elemento de una aleación sólida por procesos corrosivos. El ejemplo más común de este tipo de corrosión es el deszincificado que tiene lugar en los latones, que consiste en la eliminación del zinc que está aleado con cobre. También se presenta en procesos similares como la pérdida de níquel, estaño y cromo en las diferentes aleaciones de cobre como se ve en la ilustración 9.

### **Ilustración 8. Corrosión selectiva**



**Fuente:** <https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n>

### 2.3.8. Corrosión a altas temperaturas

La oxidación de los metales se puede presentar en un medio acuoso como también en el aire para formar óxidos superficiales. La alta temperatura de oxidación de los metales es particularmente importante en el diseño de algunos componentes como turbinas de gas, motores y equipamiento de petroquímicas.

**Ilustración 10. Corrosión por altas temperaturas**



**Fuente:** [www.google.com.co/search?q=imagenes+de+corrosion+altas+temperaturas&biw](http://www.google.com.co/search?q=imagenes+de+corrosion+altas+temperaturas&biw)

### 2.3.9. Corrosión filiforme

Se da en superficies recubiertas o pintadas y donde la humedad penetra el recubrimiento. Da lugar a líneas de productos de corrosión del grosor de un cabello 0.01mm y ocurre bajo recubrimientos de barniz, pintura o goma. Se produce al formarse gotas de disolución concentrada de electrolito bajo el recubrimiento como se ve en la ilustración 11.



**Ilustración 11. Corrosión filiforme**



**Fuente:** <https://www.google.com.co/search?q=imagenes+de+corrosion+filiforme&biw>

#### **2.3.10. Corrosión por exfoliación**

Es una forma de corrosión intergranular que Tiene apariencia de hojaldre. Es frecuente en materiales laminados: Los ambientes costeros contaminados son los más corrosivos. El ataque tiene lugar a lo largo de bordes de grano alargados en la dirección de laminación con lo que el ataque se localiza en capas paralelas a la superficie como se ve en la ilustración 12.

**Ilustración 12. Corrosión por exfoliación**



**Fuente:** [www.google.com.co/search?q=imagenes+de+corrosion+por+exfoliacion&biw](http://www.google.com.co/search?q=imagenes+de+corrosion+por+exfoliacion&biw)

## **2.4. CORROSION SEGÚN EL MEDIO**

### **2.4.1. Corrosión química**

Es aquella que ocurre cuando el cuerpo metálico y el agente corrosivo están en contacto directo. Se trata de reacciones de óxido- reducción directas en las que no hay corrientes eléctricas que recorran el metal.

### **2.4.2. Corrosión electroquímica**

Se trata de reacciones de óxido – reducción donde hay circulación de iones en el medio agresivo y simultáneamente de circulación de electrones libres en el cuerpo metálico. Se podría tratar de una reacción a distancia como en las pilas galvánicas.

El agente agresivo actúa sobre ciertas zonas o áreas del cuerpo metálico, que en cierto momento tengan menos potencial de reducción.

### **2.4.3. Fisuración y fuga de petróleo inducida por corrosión bajo tensión**

Este caso presenta los resultados del análisis de falla de un accidente ocurrido en el Norte de Irán en Abril del 2004 en un oleoducto de transmisión, que condujo a una posterior fuga considerable de petróleo. La tubería, de material API 5L X52, tenía un diámetro nominal de 10 pulgadas y un espesor de pared de 5 milímetros, y se encontraba enterrada 1 metro bajo la superficie en la cima de una colina. El sistema de protección usado consistía en un recubrimiento de polietileno y protección catódica. La inspección visual reveló la presencia de micro fisuras y picaduras abiertas en la superficie. Asimismo se pudo observar un ligero doblez en el eje longitudinal de la tubería en la zona donde se presentaron las fisuras

#### **2.4.4. Explosión de tubería de transmisión de gas natural originada por corrosión interna**

Este caso presenta una falla en el sistema de transmisión de gas natural de El Paso, New México, USA, ocurrido en Agosto del 2000. Este accidente fue uno de los más comentados en los últimos años debido a las pérdidas humanas ocasionadas: 12 personas muertas. La tubería, de material API 5LX grado X52, tenía un diámetro nominal de 30 pulgadas y un espesor de pared de 8.5 milímetros y transportaba gas natural en estado líquido. La presión de trabajo al momento del accidente era de 675 psig, menor a la presión máxima de diseño, 837 psig como se ve en la ilustración 13.

La inspección visual de la tubería fracturada permitió observar una severa corrosión interna a lo largo del borde inferior de la tubería conjuntamente con una considerable pérdida de espesor de pared, Asimismo se observó que los cordones de soldadura ubicados en la parte inferior de la tubería también fueron atacados. No se registró ninguna evidencia de corrosión externa. El análisis microestructura reveló una estructura compuesta por ferrita proeutectoide y perlita, con algunos carburos precipitados en los límites de grano.

**Ilustración 13. Explosión de tubería**



**Fuente:** <https://www.google.com.co/search?q=imagenes+explosion+de+tuberia+por+corrosion&biw>

## 2.5. PROTECCION CONTRA CORROSION:

En los ambientes corrosivos por las distintas variables que intervienen, ya sean químicas, físicas o mecánicas; no es posible encontrar un método único para solucionar los distintos casos de corrosión, por lo que a su vez se requiere disponer de distintos métodos anticorrosivos para prevenirla. La corrosión no se puede evitar, más el objetivo principal está en retardarla, ya sea en el metal, en la interface o en el medio ambiente corrosivo.

2.5.1. Son muchos los métodos, para los distintos grados de protección que se pretenden; los cuales en grado de importancia están: el diseño evitando puntos sensibles de ataque en la estructura, utilizando recubrimientos protectores metálicos y no metálicos, especificando materiales resistentes a la corrosión, usando protección catódica, y alterando los medios por medio de inhibidores.

### 2.5.2. Medidas de defensa contra la corrosión

**A) Elección del material:** La correcta elección del material se hace muy importante ya que puede evitar posibles problemas que pueden causar daños irreparables. Uno de los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta es la agresividad del medio corrosivo al cual va a estar expuesto el material lo cual nos permitirá tomar medidas preventivas como usar protecciones que retarden el desgaste del material.

**B) Electrólisis:** Después de una cuidadosa preparación superficial que incluye un decapado ácido, seguido de neutralización y lavado, las piezas por tratar se sumergen en soluciones que contienen sales de los metales a depositar. Las piezas se colocan en posición catódica, conectadas al polo negativo de un rectificador. Bajo la acción de la corriente eléctrica proporcionada por el rectificador, el metal se recubre del metal contenido en el baño o bien puede ser suministrado por un ánodo soluble del metal en cuestión.

Los metales corrientemente depositados por vía electroquímica son: cromo cobre, níquel, cinc, cadmio y estaño.

**C) Recubrimientos:** Estos son usados para aislar las regiones anódicas y catódicas e impedir la difusión del oxígeno o del vapor de agua, los cuales son una gran fuente que inicia la corrosión o la oxidación. También con el fin de mejorar la estética de una superficie. Aunque principalmente la función a cumplir por un recubrimiento es la decorativa, puede presentar otras características que, en ocasiones, no pueden ser calificadas de secundarias, como por ejemplo de protección antihumedad, de aislamiento, de refuerzo a la resistencia, de anticorrosión, etc.

**D) Recubrimientos metálicos:** Pueden lograrse recubrimientos metálicos mediante la electrodeposición de metales como el níquel, zinc, cobre, cadmio, estaño, cromo, etc.

**E) Electrodeposición:** La electrodeposición es un proceso electroquímico de chapado donde los cationes metálicos contenidos en una solución acuosa se depositan en una capa sobre un objeto conductor. Este proceso necesita de una corriente eléctrica para reducir sobre la superficie del cátodo. Al ser reducidos los cationes precipitan sobre la superficie creando un recubrimiento.

**F) Anodizado:** Es un proceso electroquímico de oxidación forzada, por medio del cual se forma una capa protectora de óxido de aluminio sobre la superficie base. Este proceso consiste en someter al aluminio a una inmersión de ácido sulfúrico. Al pasar corriente se libera el oxígeno que se dirige al ánodo que al reaccionar con el aluminio genera una capa de óxido cuyo espesor varía con el tiempo de paso de la corriente para cerrar los poros que presenta la superficie del aluminio anodizado se lo sumerge en agua desmineralizada a 96°C.<sup>1</sup>

**G) Recubrimientos no-metálicos:** Se incluye dentro de esta clasificación las pinturas, barnices, lacas, resinas naturales o sintéticas. Grasas, ceras, aceites, empleados durante el almacenamiento o transporte de materiales metálicos ya manufacturados y que proporcionan una protección temporal.

**Aceite y engrasado:** Las piezas se protegen contra la oxidación y para permanecer brillantes para su utilización. Los aceites y grasas no deben ser ácidos y las piezas deben estar limpias antes del engrasado. Se usan aceites minerales o grasa mineral (vaselina).

---

<sup>1</sup> [http://vocacional2recubrimientos.blogspot.com/2012/10/v-behaviorurldefaultvmlo\\_22.html](http://vocacional2recubrimientos.blogspot.com/2012/10/v-behaviorurldefaultvmlo_22.html)

**Pinturas y barnices:** La diferencia básica entre una pintura y un barniz reside en el hecho de que este último es transparente e incoloro, mientras que las pinturas son opacas y tienen color propio.

**Pinturas:** Se entiende por pintura a una aplicación uniformemente distribuida de materiales colorantes sobre un fondo al cual quedan adheridos después de secarse. Entre los materiales empleados cabe señalar las pinturas de aceite, barnices al aceite y barnices de resinas sintéticas. La pintura puede aplicarse mediante pulverización, brocha, laqueado por pistola con campo eléctrico.

**Barnices:** Se producen por cocción de una resina disuelta, con un aceite secante. Entre las resinas sintéticas y naturales analizadas en los barnices se encuentran las fenólicas, alquídicas y damar.

Las pinturas asfálticas son usadas intensivamente donde se necesita una considerable resistencia a la corrosión, pero no interesa fundamentalmente la apariencia. Se usan fundamentalmente en la industria eléctrica.

### 2.5.3. Pinturas y barnices

**A) Esmaltes celulósicos:** también llamados lacas sintéticas. Son productos derivados de la celulosa vegetal, que ha sido sometida a un proceso de transformación para modificar sus propiedades y convertirla en un material plástico. Las resinas celulósicas se combinan con otras resinas, como por ejemplo las alquídicas, las melaninas, las acrílicas, las del grupo epoxi.

**B) Caucho clorado o clorocaucho:** Es un tipo de pintura obtenida por disolución de caucho natural o sintético en tetracloruro de carbono, y un tratamiento posterior con cloro. También se presenta modificado con otras resinas, como por ejemplo, las alquídicas de secado al aire, que incrementan su resistencia a la luz.

**C) Resinas vinílicas:** Componen un grupo muy interesante de pinturas ya que emulsionadas en agua constituyen las denominadas "pinturas plásticas". Presentan como propiedades una extraordinaria facilidad de aplicación, carencia de olor, rapidez de secado, elevada flexibilidad y alta resistencia al agua.

**D) Barnices y esmaltes acrílicos:** El grupo acrílico comprende barnices transparentes y esmaltes en emulsión, cuyos ligantes han sido obtenidos por

polimerización de ésteres de los ácidos acrílico y metacrílico, y que utilizan el agua como disolvente.<sup>2</sup>

**E) (EIS UVA)Lacas:** Constan de nitrato de celulosa disuelta en acetato de butilo e incluyen disolventes adelgazadores y secantes. Las lacas son de secado al aire y se utilizan como revestimiento protector y decorativo final.<sup>3</sup>

**F) Goma laca:** Consiste en laca disuelta en alcohol. Las gomas lacas se utilizan como selladores, pegamentos y para revestimiento de superficies, en especial en la madera.<sup>4</sup>

**G) Granallado:** El granallado es un método de trabajo en frío en el cual se inducen esfuerzos compresivos a una superficie expuesta de una pieza metálica, por el choque de una lluvia de disparos de granalla, directamente a la superficie del metal a gran velocidad bajo condiciones controladas. Esto difiere de la limpieza a base de aire, ya que aun cuando el granallado limpia la superficie del metal mediante el disparo (limpieza de piezas de fundición ferrosas y no ferrosas, piezas forjadas, decapado mecánico de alambres, barras, y preparación de superficies donde serán aplicados revestimientos posteriores como pintura y cauchos), esta función es incidental. El principal propósito del granallado es incrementar su resistencia a la fatiga.

**H) Inmersión:** es el método de deposición de un recubrimiento sobre una superficie metálica que se obtiene cuando se sumerge el elemento en un baño de metal fundido, el metal de recubrimiento debe tener un punto de fusión menor que el del metal base, la galvanización y el estañado son los ejemplos comunes. A este proceso también se denomina inmersión en caliente y es un método económico que se utiliza en general para dar un recubrimiento de un metal sobre otro. Este procedimiento da como resultado un recubrimiento superficial resistente a la corrosión.

**I)Galvanizado:** Es el proceso de proporcionar un recubrimiento de zinc sobre superficies de hierro y acero. Se utilizan sobre todo para evitar la corrosión ocasionada por el agua y la atmosfera. El zinc tiene una resistencia a la corrosión solo dentro de un rango natural de solución acuosa. Los ácidos lo atacan

---

<sup>2</sup> EIS UVA. (s.f.). Recuperado el 16 de 08 de 2015, de <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/construccion/pinturas.html>

<sup>3</sup> UPIICSA. (s.f.). Recuperado el 07 de 07 de 2015, de [http://www.sites.upiicsa.ipn.mx/polilibros/portal/polilibros/P\\_terminados/procman-Aguilar-Oros/UMD/Unidad4/Contenido/4.b.htm](http://www.sites.upiicsa.ipn.mx/polilibros/portal/polilibros/P_terminados/procman-Aguilar-Oros/UMD/Unidad4/Contenido/4.b.htm)

<sup>4</sup> BLOG SPOT. (s.f.). Recuperado el 14 de 07 de 2015, de <http://medidasdefensacontralacorrosion.blogspot.com/2012/06/medidas-de-proteccion-contra-la.htm>

fácilmente, además se oscurece rápidamente a la exposición formando una película lisa adherente de óxido de zinc. Que constituye un recubrimiento protector sobre la superficie del metal. El tiempo de inmersión debe ser lo suficientemente largo para que el elemento alcance la temperatura del baño.

**J) Estañado:** El Estañado es un recubrimiento metálico de estaño, realizado mediante baño electrolítico, que se da sobre piezas metálicas, ya sean de acero, latón, O cobre y que sirve para aumentar su resistencia a la oxidación, la corrosión o el desgaste, mejorar la soldabilidad, y para mejorar su aspecto en elementos ornamentales. <sup>5</sup>

**K) Termo rociado:**

El Termo rociado es un procedimiento de alta tecnología para la creación de recubrimientos superficiales funcionales: materiales específicos para exigencias puntuales.

Consiste en rociar un material metálico o no metálico fundido, con alta velocidad, sobre la superficie a recuperar, logrando así redimensionarla a sus medidas originales o protegerla contra el medio ambiente según sea el caso

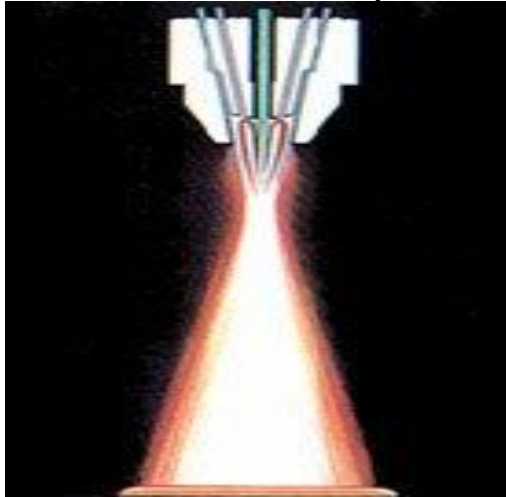
**Principios de termo rociado:** El proceso se describe como la proyección de partículas de material fundidas contra un material base, Estas partículas son disparadas a velocidades superiores al sonido, que se incrustan adhiriéndose al sustrato y entre ellas conformando así un recubrimiento denso fuertemente adherido al material base y con una dureza generalmente mayor al mismo material base.

---

<sup>5</sup> Vocacional 2. (s.f.). Recuperado el 08 de 07 de 2015, de [http://vocacional2recubrimientos.blogspot.com/2012/10/v-behaviorurldefaultvmlo\\_22.html](http://vocacional2recubrimientos.blogspot.com/2012/10/v-behaviorurldefaultvmlo_22.html)



**Ilustración 14. Principios**



**Fuente:** <https://www.google.com.co/search?q=imagenes+de+termo+rociado&sa=>

**Ventajas Del Termo rociado:** Resistencia al desgaste por: Abrasión, Cavitación, Erosión, Resistencia a la corrosión por agentes agresivos: Ácidos, Gases sulfurosos y solventes.

## **2.6. ENSAYOS DE CORROSIÓN**

En el campo industrial los materiales están expuestos a la contaminación del medio ambiente por lo cual se presentan daños de mayor o menor importancia. Para explicar las causas de los daños, son apropiados los ensayos de corrosión bajo condiciones conocidas y reproducibles.

Los ensayos naturales son aquellos en los que la pieza está sometida directamente a las condiciones de ataque que se encuentran en la práctica. Los ensayos de laboratorio son ensayos realizados bajo condiciones de ataque regulables y logradas artificialmente la gran diferencia es que en los ensayos de laboratorio se emplean probetas pequeñas bien definidas y la composición del medio agresivo puede ser seleccionado.

### **2.6.1. Ensayos naturales:**

Estos ensayos permiten el estudio exacto de un material o del efecto protector de una medida determinada. En los ensayos naturales solo se obtendrán resultados claros después de largos periodos de tiempo incluso años.

- Ensayos en la atmosfera
- Ensayos en el agua o mar
- Ensayos en el suelo

### **2.6.2. Ensayos de laboratorio**

Uno de los ítems más importantes de los ensayos de corrosión en el laboratorio es la limitación de las acciones atmosféricas ya que están son las que afectan con mayor frecuencia la vida de los materiales. En estos ensayos no es posible tener en cuenta todos los aspectos por ello exigirá un mayor número de ensayos.

- Ensayos de niebla
- Ensayos de inmersión alterna
- Ensayos de inmersión continua
- Métodos electroquímicos

## **2.7. Obtención de resultados en ensayos de corrosión**

Los resultados de corrosión en los materiales se pueden evidenciar a partir de las variaciones de la superficie del material y el agente corrosivo.

### **2.7.1. Investigaciones microscópicas de la superficie**

Se han empleado las observaciones de campo claro y oscuro, la iluminación oblicua y el contraste de fase pueden ser de mucha utilidad.

### **2.7.2. Superficie del material**

La observación a simple vista de la superficie del metal que se corroe es el método más racional y sencillo por lo cual es el más empleado para juzgar la corrosión.

### **2.7.3. Reconocimiento de defectos superficiales, grietas**

Los metales presentan con frecuencia defectos superficiales debido a la corrosión, estos defectos resultan más perjudiciales en el uso con respecto a las solicitudes mecánicas, algunas grietas no se pueden descubrir a simple vista por lo cual se hace necesario la aplicación de los ensayos no destructivos como

- Inspección por ultrasonido
- Inspección visual
- Ensayo de líquidos penetrantes
- Ensayo de películas magnéticas

### **2.7.4. Determinación de las variaciones de peso**

La corrosión también se puede visualizar obteniendo las variaciones de peso del material y las probetas para ello es necesario conocer las dimensiones exactas.

### **2.7.5. Determinación de la disminución de espesor**

El proceso más sencillo de determinar la disminución de espesor de un material se puede llevar a cabo con la relación entre la disminución del peso y espesor.

## **2.8. MARCO CONSTITUCIONAL Y LEGAL**

El proyecto de diseño y construcción de la cámara de niebla salina involucra una serie de actividades y un desarrollo dentro de un campo en el cual se carece totalmente de normas legales en nuestro país que limiten o direccionen de alguna manera el planteamiento y completo adelanto del proyecto, por lo cual la influencia de éste marco es completamente irrelevante.

No obstante y a pesar de lo anteriormente expuesto, se menciona y se aclara que se realizó una consulta previa que sirve para respaldar y justificar todo lo que se ha mencionado anteriormente.

### **3. INGENIERÍA DEL PROYECTO**

Desde el momento en que se concibe la idea de fabricar una cámara de niebla salina para realizar ensayos de corrosión, para presentar como requisito de proyecto de grado para optar al título de ingeniero mecánico, se han tenido en cuenta múltiples factores como lo son el diseño y cálculo del equipo, el presupuesto, la aprobación por parte del comité, la evaluación entre otros.

El camino que se comenzó a construir tiene como punto de partida un cúmulo de ideas sobre el cual debe ser el procedimiento a seguir más idóneo para obtener un producto final de alta calidad y que cumpla con todas y cada una de las especificaciones requeridas. Por ésta razón se organizó un programa de trabajo en el cual se decide iniciar con una completa búsqueda de información y documentos referentes a la corrosión y específicamente al ensayo en cámara de niebla salina. Posteriormente se realiza una recopilación y depuración de toda la información obtenida a fin de dejar únicamente el material de utilidad y aplicabilidad de la cual se extrajo una serie de páginas que debidamente aprovechadas, son plasmadas en un escrito denominado anteproyecto, acompañado de un diseño preliminar del equipo que se pretende fabricar junto los objetivos generales y específicos.

Hasta éste momento se habla de que hay un anteproyecto titulado: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN, SEGÚN NORMA ASTM B-117 PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES, y al que se le debe aplicar la ingeniería para llevarlo de un plano escrito a un producto tangible, funcionalmente óptimo y desde luego con todas las consideraciones y calidades de un equipo de laboratorio.

Toda la teoría tratada en las diferentes asignaturas de la carrera, deben ser puestas a prueba y juegan un papel importantísimo ya que representan las bases sólidas para el diseño, fabricación y puesta en marcha del equipo. Concatenar de manera coherente todas las materias y aplicarlas en el desarrollo del proyecto deben ser suficiente garantía para el éxito de éste. En éste punto ya se tiene un diseño que surgió de un estudio previo de materiales y otros aspectos y que plasmado en un anteproyecto se espera sea aprobado por el comité.

Si el comité resuelve afirmativamente como se espera, y da vía libre al proyecto, también sería posible visualizar que después de ensamblado el conjunto y colocados todos los accesorios, con previa verificación de su funcionamiento y ajustes, se obtenga un producto final confiable, seguro, robusto, estéticamente atractivo y que pueda generar grandes beneficios a la

academia y específicamente a la comunidad libertadora durante un largo tiempo sin mayores contratiempos.

Para el óptimo diseño de la cámara de niebla salina se tendrán en cuenta conceptos de ingeniería como el diseño de máquinas, automatización, selección de materiales, corrosión y la normatividad internacional lo cual nos permitirá hacer un gran análisis de los diferentes fenómenos físicos, químicos a los que están sometidos los diferentes elementos mecánicos y eléctricos lo cual puede influir en el funcionamiento de la cámara de niebla salina

### **3.1. DISEÑO DE LA CAMARA**

## **DISEÑO DE LA CÁMARA**

En el presente capítulo se da a conocer el proceso de diseño y selección de los materiales que se utilizaron en la construcción de la cámara y se detallan diferentes características y consideraciones usadas por los diseñadores, se muestran diferentes fotografías y esquemas ilustrativos que presentan las dimensiones y formas de los elementos constitutivos y se da una sencilla explicación de su funcionamiento y el rol que cumple dentro del conjunto del cual hace parte, teniendo siempre como base la norma ASTM B – 117-11 y las condiciones y exigencias que allí se imponen.

### **Consideraciones a tener en cuenta para el diseño**

Los criterios que se tuvieron en cuenta para el diseño y construcción del equipo fueron los siguientes:

- Se deben cumplir estrictamente las exigencias, garantizar las condiciones y respetar las restricciones establecidas en la norma ASTM B – 117-11 “Salt spray (Fog) test.
- El equipo debe ser confiable.
- Debe brindar absoluta seguridad para el/los usuarios

- La duración máxima de cada uno de los ensayos se estableció en 7 días (168 horas), en concordancia con las condiciones establecidas por la norma ASTM B – 117-11 “Salt spray (Fog) test.
- Se debe disponer de una toma eléctrica monofásica acorde al consumo del compresor como fuente de aire y a la potencia de los diferentes elementos eléctricos instalados en el equipo. Así mismo se debe disponer de drenaje para los puntos de la cámara donde se acumule humedad.
- El equipo debe estar construido con elementos de fácil consecución en el mercado.
- La cámara debe ser práctica y fácil de utilizar.
- El equipo debe ser robusto, estéticamente adecuado y de fácil montaje y desarmado para facilitar su transporte.
- Las dimensiones deben ser similares a las de otros equipos que se encuentran en el mercado, pero lo más pequeña posible para que sea de fácil movilidad y se pueda acomodar en un espacio reducido.
- Debe ser lo más económico posible manteniendo su funcionalidad.
- El equipo debe operar con una mínima intervención humana.
- Debe tener aplicación didáctica y de fácil mantenimiento.

### **Cuerpo de la cámara y tapa**

Esta es la parte del equipo donde se va a realizar el ensayo, y que va a estar sometida a una altísima humedad, ambiente salino muy corrosivo y a variaciones de temperatura. Por lo tanto para la selección del material a utilizar para el cuerpo de la cámara se tuvieron en cuenta diferentes factores como alta resistencia a la corrosión, bajo índice de absorción de agua, acabado superficial liso, impermeabilidad, fácil maquinado, buena resistencia mecánica especialmente a los golpes, temperatura de trabajo ( $35^{\circ}\text{C} + 1,1 - 1,7^{\circ}\text{C}$ ) y agradable aspecto.

Normalmente los cuerpos de las diferentes cámaras del mercado se fabrican en fibra de vidrio o en resina poliéster con acabado suave y refuerzo en fibra de vidrio. Sin embargo la norma ASTM B – 117-11 no es rígida y por lo tanto permite la elección de cualquier otro material, siempre que éste cumpla con las condiciones establecidas en la norma.

### Ilustracion 15. Camara principal



**Fuente:** autores

En éste diseño se seleccionó el acrílico en color blanco, ya que sus propiedades hacen que sea un material ideal para el proyecto a pesar de alguna característica negativa.

Entre las características favorables se pueden enunciar las siguientes:

- Muy baja conductividad térmica
- Resistente a la corrosión
- No reacciona con otros elementos
- Bajo costo
- Fácil mecanizado
- Fácil moldeado
- Impermeable
- Soporta perfectamente la temperatura de trabajo (35°C)
- Visualmente ideal para uso didáctico
- Acabado totalmente liso y de fácil limpieza
- Resistente a los impactos
- Ecológico; esta característica es casi exclusiva ya que es 100% reciclable.

Algunas características negativas son:

- De fácil combustión, no se apaga cuando es retirado del fuego.
- Se raya fácilmente con cualquier objeto metálico, como un clip o cuando entra en contacto con un material abrasivo.

Tabla 2.1

PROPIEDADES DEL ACRÍLICO			
PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD	MODELO DE PRUEBA (ASTM)
<b>MECÁNICAS</b>			
Peso específico	1,19		D-792
Resistencia a la tensión	700	Kg/cm <sup>2</sup>	D-638
Resistencia a la tensión a -40 °C	950	Kg/cm <sup>2</sup>	D-638
Resistencia a la tensión a +70 °C	350	Kg/cm <sup>2</sup>	D-638
Elongación de ruptura	2 - 4	%	D-638
Módulo de elasticidad a la tracción	30.000 - 32.000	Kg/cm <sup>2</sup>	D-638
Resistencia a la flexión	1.020	Kg/cm <sup>2</sup>	D-790
Módulo de flexión	28.600	Kg/cm <sup>2</sup>	D-790
Resistencia a la compresión	1.020	Kg/cm <sup>2</sup>	D-695
Módulo de resistencia a la compresión	21.420	Kg/cm <sup>2</sup>	D-695
Resistencia al impacto (Izod)	1 - 2	Kg.cm/cm <sup>2</sup>	D-256 (Met. A)
Resistencia al impacto (Charpy)	20 - 30	Kg.cm/cm <sup>2</sup>	D-256 (Met. B)
Resistencia al cizallamiento	630	Kg/cm <sup>2</sup>	D-732
Dureza a la penetración Rockwell	M 90 - 100		D-785
Dureza a la penetración Barcoll	50 - 52		D-2583
Resistencia a la abrasión (500 g., 100 ciclos)	4		D-1044
<b>TÉRMICAS</b>			
Autoignición	420	°C	D-1929
Calor específico	0,35	Cal/g.°C	
Temperatura de formado	140 -180	°C	648



Temperatura máxima de servicio	80	°C	648
Temperatura de deflexión bajo carga	91	°C	648
Velocidad de propagación de la llama	25 -30	mm/min	D-635
Punto de inflamación	280	°C	D-1929
Temperatura de combustión	500	°C	
Deformación interna máxima	2,8	%	D-4802
<b>ÓPTICAS</b>			
Índice de refracción	1,48 - 1,50		D-542
Opacidad máxima	3	%	D-1003
<b>Transmisión de la luz en el espectro visible para espesores:</b>			
Menores o iguales a 4,7 mm. Valor mínimo	91	%	D-1003
Entre 4,7 mm y 31,8 mm. Valor mínimo	89	%	D-1003
Entre 31,8 mm y 50,8 mm. Valor mínimo	87	%	D-1003
<b>Transmisión de la luz en el espectro ultravioleta para espesores:</b>			
Para 6,4 mm. Valor máximo	5	%	D-4802
<b>ELÉCTRICAS</b>			
Constante dieléctrica	4		D-150
Factor de pérdida	0,24		
Factor de potencia (60 ciclos)	0,06		
Resistencia a la perforación (5 min, espesor 3 mm.)	40	KV	
Resistividad dieléctrica	17 - 20	KV/mm	D-149
Resistividad interna	10Exp15	Ohm.cm	D-257
Resistividad superficial (28°C; 75% H.R.), mínimo	10Exp16	Ohm	D-257
Resistividad volumétrica, mínimo	10Exp15	Ohm.cm	D-257
Tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas a 10 Hz	0,02		D-150
<b>OTRAS</b>			
Absorción de agua (24 horas, 23 °C)	0,3	%	D-570
Absorción de agua (24 horas, 3,2 mm de espesor)	0,6 - 0,8	%	D-570
Materia soluble en agua luego de inmersión	0	%	

Acriláminas, Plastiglas de México

El Acrílico es un polímero de metil metacrilato, PMMA (polimetilmetacrilato). Es un termoplástico rígido excepcionalmente transparente. En su estado natural es incoloro pero se puede pigmentar para obtener una infinidad de colores. También se puede dejar sin pigmento para producir una lámina completamente transparente. Se produce material en un rango de parámetros de transmisión y difusión de luz, óptimo para diferentes usos.

Para el dimensionamiento de la cámara, se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- Tamaños de cámaras que se encuentran en el mercado
- Tamaño y tipo de probetas que se van a someter a ensayo. Por tratarse de una cámara para aplicaciones didácticas principalmente, el tamaño de las probetas se puede acomodar a la cámara.
- Tipo de sello para proteger los componentes externos de la cámara. El sello seleccionado fue el de agua y para ello se hizo una canal alrededor del cuerpo, situada en la parte superior y que sirve para el asentamiento de la tapa. Así mismo para el soporte del sensor de temperatura se utilizó un empaque de caucho
- Tipo de soporte para las probetas: Se diseñó una estructura de soporte para éstas en acrílico, con paneles verticales equidistantes entre sí, que permiten posicionar las probetas a 30° con respecto a la vertical.
- Forma de evacuación del condensado. En la canal a la derecha por la parte frontal se colocó un desagüe con una pequeña llave para desocuparla. De la misma manera existe un ducto de fondo a manera de sifón para evacuar la humedad del interior de la cámara. También existe la posibilidad de evacuar el condensado sucio que escurre de las probetas y que se acumula en un depósito ubicado debajo del porta probetas, por un ducto situado en el costado izquierdo de la cámara, a una altura conveniente.
- Tapa de la cámara. Se fabricó en acrílico transparente de 5mm de espesor con forma de V invertida y ángulo de 125° lo que permite que el condensado sea dirigido hacia la canal ubicada en los bordes de la cámara. Por ser transparente permite visualizar el ensayo en todo momento lo cual brinda una gran ventaja didáctica y de control. En los lados se colocaron unas manijas para su fácil manipulación, sujetadas con tornillos

galvanizados que a su vez están protegidos por empaques de caucho que cubren sus cabezas.

- Depósito auxiliar de solución salina. Se eligió su ubicación en el interior de la cámara teniendo en cuenta el sitio desde donde se hace la atomización del producto y de una capacidad suficiente para que pueda trabajar sin problemas entre períodos de inspección, aún si la válvula o el sistema de llenado automático fallara. Éste depósito tiene un sistema de calefacción independiente al de la cámara.
- Boquilla de atomización. Se colocó una T de plástico utilizada en neumática, en el interior de la cámara sobre el depósito auxiliar de solución salina que permite proyectar la niebla salina en forma paralela a la ubicación de las probetas y ligeramente sobre ellas.
- Sensor de temperatura. Se trata de un termopar tipo J que por ser fabricado en Hierro y Constantán va introducido en un tubo de ensayo de vidrio para proteger el elemento de la corrosión.
- Sistema calefactor. Para el tanque auxiliar de solución salina se utilizó una resistencia común utilizada en acuarios de 50 W de potencia. El calentamiento de la cámara se realiza a través de siete bombillos halógenos de 50 W cada uno, para un total de 350 W de potencia.
- Estructura de soporte. Se escogió un escritorio de computador comercial fabricado en madera y metal el cual fue reforzado con dos columnas metálicas para reforzar la repisa superior que es el lugar donde van ubicados los tanques principales de agua y de solución salina.

La cámara está construida con láminas de acrílico de 5 mm de espesor en color blanco, que conforman paneles de diferentes dimensiones, los cuales convenientemente ensamblados forman el piso, las paredes, la tapa, reservorio auxiliar, depósito de recolección de condensado sucio, canales para el sello, apoyos para el porta probetas etc. Por medio de tuberías flexibles, los condensados son llevados hacia depósitos plásticos ubicados en la parte inferior de la cámara. En el interior del equipo en la parte superior de la cara posterior se encuentra ubicado el sensor de temperatura, por medio del cual se lleva la señal a un pirómetro ubicado en el tablero principal, que permite activar o desactivar los elementos calefactores con el fin de mantener la temperatura en  $35\text{ }^{\circ}\text{C} + 1,1\text{ }^{\circ}\text{C} - 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Estos calefactores son activados a través de relevos, pero uno de ellos permanece encendido constantemente lo cual permite mantener la temperatura un tiempo más prolongado y como medio de iluminación interna del equipo. En el interior también se encuentra el tanque auxiliar de solución salina, el cual permite el suministro del producto de atomización para crear la niebla. En el interior de éste tanque se encuentra una resistencia para precalentar la solución que se va a atomizar. Dicha resistencia

está controlada por un termostato debidamente modificado y ajustado para mantener lo más estable posible la temperatura de la solución. Un compresor ubicado en la parte inferior de la cámara permite en conjunto con diversos elementos permiten suministrar el aire de atomización. La tapa en forma de V invertida permite direccionar el condensado hacia la canal ubicada en la parte superior del cuerpo de la cámara en todo su perímetro, para luego ser evacuado hacia un tanque ubicado en la parte inferior del equipo. Un porta probetas ubicado en la pared izquierda de la cámara, permite ubicar simultáneamente seis especímenes para ser estudiados. Todo el conjunto de elementos componentes del equipo, se ubican soportados por un mueble diseñado para equipos de cómputo y muy común en el mercado. Dicho mueble permite un desplazamiento fácil del equipo por medio de las ruedas que posee y brinda suficiente protección contra golpes accidentales que puedan surgir durante los ensayos.

### **Sistema de generación de niebla salina**

Este sistema se compone de varios elementos como son: Un tanque principal de almacenamiento de solución salina, un tanque auxiliar de la misma solución, un compresor, una unidad de mantenimiento con filtro y regulador de presión, un tanque principal de agua, un tanque humidificador, una boquilla de atomización, líneas de agua, aire y solución y válvulas manuales y electroválvulas, visores de nivel y sus respectivos controles. De un lado, en el circuito de solución salina, el depósito principal se encuentra ubicado en la parte superior y permite la salida del líquido por medio de una válvula de bola. A continuación una Y con dos válvulas de bola integradas permiten direccionar el fluido para que el tanque auxiliar de solución pueda ser llenado y su nivel controlado de forma manual o automática. Un visor permite al operador del equipo, observar el nivel de la solución y unos sensores ubicados en el tubo se encargan de darle señal a una electroválvula para controlar automáticamente el nivel. El estado de este parámetro se puede visualizar en el tablero de control por medio de un piloto azul indicando cuando permanece encendido que el nivel es normal. De otro lado está el circuito de agua del humidificador, el cual funciona de forma similar al anterior. El tanque principal se encuentra en la parte superior junto al de la solución. Una válvula de bola permite el paso del agua, la cual por medio de una Y con dos válvulas incorporadas, hacen que el fluido pueda llegar al tanque humidificador de forma manual o automática. Igualmente, en éste se encuentran unos sensores ubicados en un tubo transparente que sirve de visor y que permiten el control del nivel en el tanque. Dichos sensores dan señal a la electroválvula que alimenta el tanque y al piloto del tablero principal para el control del estado de esta variable. Por último está el circuito de aire, el cual es suministrado por un compresor libre de aceite, colocado en la parte inferior del equipo el cual pasa a través de la unidad de mantenimiento, ingresando posteriormente al humidificador, y de allí en estado de saturación llega a la cámara y a la boquilla de atomización del reservorio de

solución salina para realizar la atomización del producto por medio de una T de uso neumático común dispuesta para éste fin.

En lo que se refiere al dimensionamiento del reservorio de solución salina, se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- Dimensiones de reservorios de cámaras comerciales.
- Dimensiones de la zona de exposición de equipo.
- Funcionalidad, sencillez y aplicabilidad didáctica del sistema de atomización
- Dimensiones con un volumen adecuado que permita brindar gran autonomía en tiempo.

Para la selección de la boquilla de atomización, los factores que se tuvieron en cuenta fueron los siguientes:

- Tamaño de las partículas en el sistema de atomización (1 a 14  $\mu$ m).
- Fabricación en un material inerte como los plásticos o en acero inoxidable o bronce para aplicaciones navales.
- Angulo de atomización entre 30 y 60 grados.
- Forma de atomización de cono lleno
- Capacidad para atomizar caudales muy bajos a baja presión. ( $Q = 0,1$  L/h a una  $P$  entre 10 y 25 PSI)

### **Soporte del equipo**

Éste componente tiene la misión de sostener la cámara con todos los accesorios brindando seguridad a ésta y facilitando los desplazamientos. Como soporte se utilizó una mesa de escritorio para computador de muy fácil consecución en el mercado, fabricada en tubería metálica de sección cuadrada de 1" de lado con repisas en madera aglomerada de 15 mm de espesor.

En la parte inferior se tiene una repisa donde se colocó el compresor y los tanques de recolección de la solución atomizada limpia y sucia.

En la parte media está el mesón principal donde se ubicó la cámara y junto a ésta el tanque humidificador.

Por último, en la parte superior hay otra repisa, la cual fue necesario reforzar con dos tubos metálicos de sección cuadrada de  $\frac{3}{4}$ " pulg, ya que sirve para soportar los tanques principales de solución salina que se va a atomizar y de agua para abastecer el humidificador. Así mismo, allí se ancla el soporte del tablero eléctrico de control.

**Ilustracion 16. Mueble de soporte**



**Fuente:** autores

Para la selección del soporte del equipo se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- Dimensiones de la cámara
- Fácil consecución en el mercado
- Económico y funcional.
- Resistencia y durabilidad
- Facilidad para hacerle modificaciones.
- Movilidad

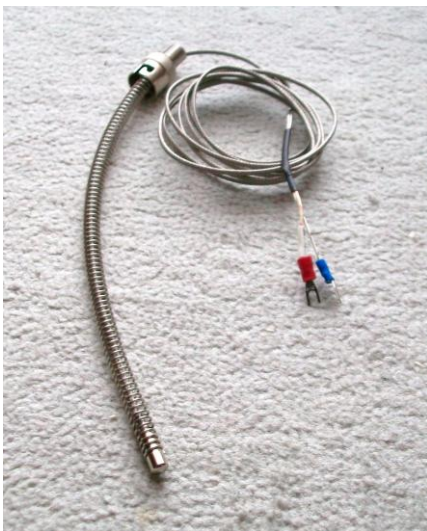
#### **Sistema de control de temperatura**

Éste sistema se divide en dos partes ya que el sistema calefactor también se compone de dos grupos de elementos.

El primero es el control de temperatura de la cámara, el cual debe permitir mantener el interior en  $35\text{ }^{\circ}\text{C} +1,1\text{ }^{\circ}\text{C} - 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Este control se realiza por medio de un controlador digital de doble display que permite visualizar la temperatura de trabajo del equipo en cualquier momento y la temperatura programada. El

controlador recibe la señal de un sensor de temperatura que no es más que una termocupla tipo J fabricada en Hierro – Constantán que tiene 1" de longitud y un diámetro de 1/4", conectada con un cable de compensación polarizado protegido con malla metálica. Dicha termocupla va ubicada en el interior de la cámara en la parte superior y protegida de la corrosión por un tubo de vidrio de 100 mm de longitud, 15 mm de diámetro externo y paredes de 1mm de espesor. El controlador permite a través de un relevo de 4 contactos y 14 pines encender y apagar un grupo de 6 lámparas halógenas de 50 W cada una en el momento que sea necesario de acuerdo con la programación.

**Ilustración 17. Sensor de T**



**Ilustración 18. Calefactores principales**



**Fuente:** autores

El segundo control de temperatura es ejercido en el tanque auxiliar de solución salina. En éste se encuentra una resistencia de 50 W de uso común en acuarios, la cual tiene incorporado un termostato el cual fue necesario modificar para que permitiera elevar la temperatura hasta unos 40 °C, ya que el dispositivo solo permitía el ajuste hasta 35 °C. Y con ello mantener la solución a una temperatura mayor que la del interior de la cámara. La resistencia es energizada a través de un relevo de 4 contactos y 14 pines.



**Ilustración 19. Calefactor tanque**



**ilustración 20. Relevos**



**Fuente:** autores

Éste relevo también alimenta una lámpara halógena de 50 W ubicada en el interior de la cámara, la cual permanece encendida todo el tiempo de duración del ensayo, permitiendo la iluminación del interior del equipo en todo momento y ayudando a la estabilidad de la temperatura de éste.

### **Sistema de suministro de aire para la atomización de la solución**

Éste es un sistema fundamental para el funcionamiento del equipo y uno en los que la norma ASTM B-117 hace especiales exigencias. El primero y más importante es que el aire que se suministra a la cámara debe estar limpio y totalmente libre de aceite para lo cual se instaló un compresor exento de lubricación, totalmente libre de mantenimiento y cuyas características más importantes son:

- Potencia del motor de 1 H.P.
- Tanque certificado con una capacidad de 6 litros
- Protector térmico
- Presión máxima de 116 P.S.I.
- Caudal de entrada de 140 litros/minuto
- Salida mediante válvula de bola en acero inoxidable
- Conexión mediante acople rápido
- Doble manómetro y regulador para control de la presión interna y de salida
- Liviano y compacto lo que permite su fácil movilidad



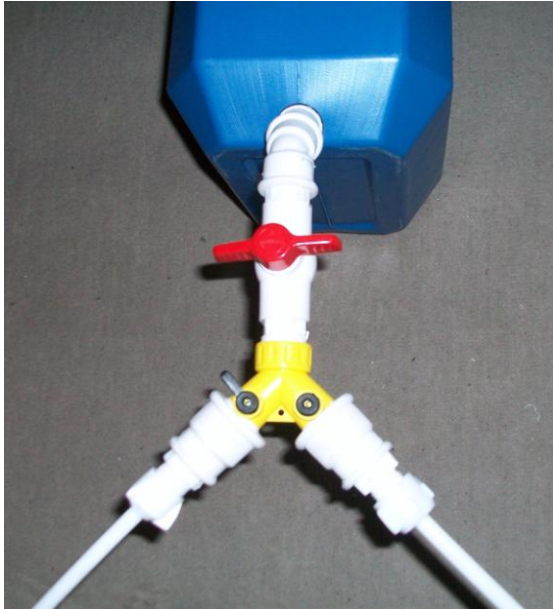
- Bajo nivel de ruido con un máximo de 90 decibeles

A continuación el aire sale del compresor y es conducido por una manguera de poliuretano de 10 mm de diámetro hacia una unidad de mantenimiento compuesta por un filtro que permite retener partículas hasta de 40 micras y un regulador con el cual se ajusta la presión de atomización, la cual debe estar entre 10 y 25 P.S.I. Otra de las exigencias de la norma, es que el aire se debe humidificar hasta por lo menos un 95% de humedad relativa. Para ello después de la unidad de mantenimiento se colocó un humidificador fabricado con un recipiente plástico de forma cilíndrica de cuatro litros de capacidad cuya entrada de aire se realizó mediante una manguera de 8 mm de diámetro conectada a un pasa muros que interiormente se divide en una T con dos mangueras de 3 mm de diámetro cada una, las cuales terminan en un difusor para permitir que el aire se distribuya de forma homogénea en el agua. La salida de aire del humidificador se realiza a través de un pasa muros de 6 mm de diámetro conectado a una manguera del mismo calibre. De allí se conduce el aire hacia el cuerpo de la cámara y justo antes de entrar a ésta se encuentra una reducción que baja el calibre de la manguera a 4 mm de diámetro. Un pasa muros de éste mismo diámetro introduce el aire a la cámara y mediante una T se atomiza la solución salina

#### **Sistema de suministro de solución salina**

Este sistema es el encargado de alimentar el proceso de generación de niebla salina, ya que es el que provee la solución de agua y sal que se almacena inicialmente en un tanque plástico de 20 litros de capacidad ubicado en la parte superior del equipo. De allí por gravedad pasa la solución al tanque auxiliar donde es precalentada y atomizada. El llenado del tanque auxiliar puede realizarse de forma manual o automática. A través de una Y. Para hacerlo manualmente simplemente se abre una válvula de bola hasta que se llegue al nivel indicado. Sin embargo el llenado automático permite que éste se haga sin la intervención del operador del equipo. Una electroválvula es la encargada de permitir el paso de la solución desde el tanque principal al tanque auxiliar. Ésta válvula es controlada por un relevo que a su vez es activado por un sensor de nivel compuesto por un Reed-Swich accionado por un imán colocado en un flotador. Además por medio de un piloto de color azul se indica que el nivel de solución es el adecuado.

**Ilustración 21. Válvulas de suministro ilustración 22. Electro válvula**



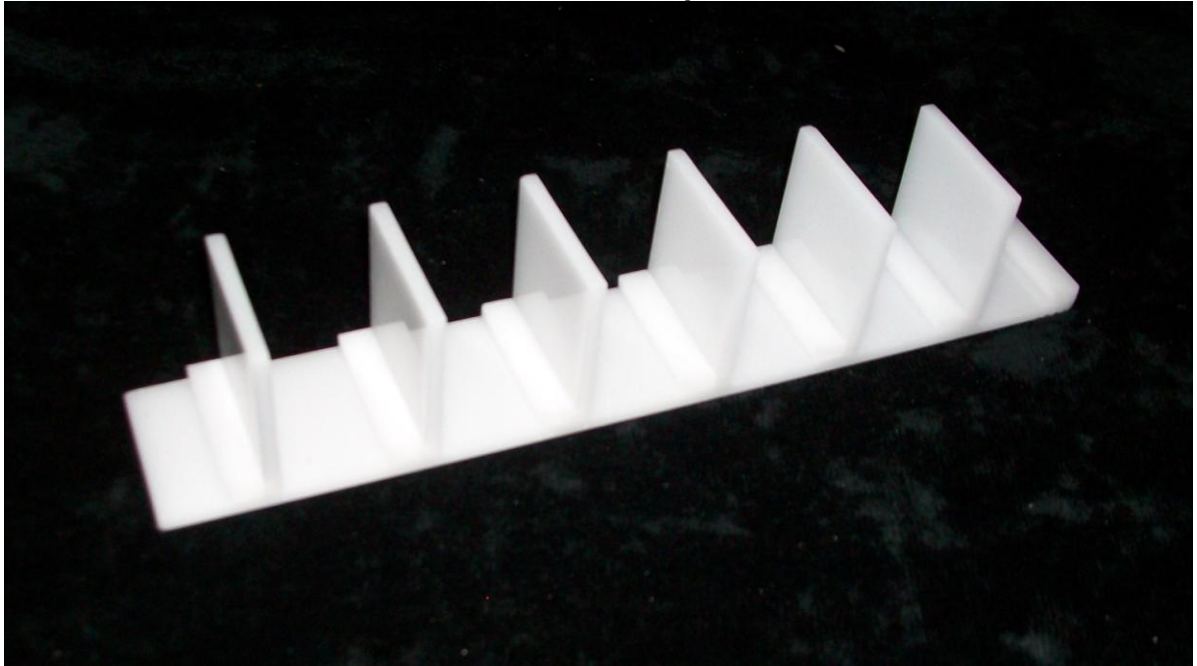
**Fuente:** autores

### **Diseño del porta probetas**

Este elemento es el encargado de servir de soporte a los especímenes y probetas que se van a someter al ensayo. Está fabricado en su totalidad en acrílico blanco de 5 mm de espesor ya que éste material posee diversas características que lo hacen idóneo para el trabajo que va a desempeñar.

El porta probetas consiste en una lámina de 30 cm de largo y 5 cm de ancho, la cual sirve como base para 6 piezas verticales cuadradas de 5 cm de lado apoyadas con unas piezas horizontales de un 5 cm de largo y 1 cm de ancho, dispuestas de forma tal que permiten ubicar las probetas formando un ángulo de 30° con respecto a la vertical, como lo establece la norma ASTM B-117 la cual exige que los especímenes se ubiquen en un ángulo de 15° a 30° con respecto a la vertical, y preferiblemente de forma paralela al sentido de atomización de la niebla. Todo éste arreglo se sostiene en dos apoyos en el interior de la cámara ubicados en la pared opuesta a la del reservorio auxiliar de solución y que permiten que el porta probetas quede a 15cm de altura.

**Ilustración 23. Porta probetas**



**Fuente:** autores

### **3.2. PRÁCTICAS DE LABORATORIO Y ENSAYOS DE CORROSIÓN**

A continuación se detallan los pasos a seguir para el correcto uso de la cámara de niebla salina, además de los pasos para la correcta preparación de las muestras, toma de datos e interpretación de los mismos.

## **Procedimiento para la puesta en funcionamiento de la cámara**

Inicialmente se da a conocer el manual de funcionamiento del compresor, el cual fue adquirido en su totalidad junto con los accesorios neumáticos sin hacerle ninguna modificación por lo que las instrucciones de operación y forma de uso, son las que recomienda el fabricante y que se transcriben a continuación.

# **COMPRESOR BAUKER EURO 6**

## **MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO**

### **INFORMACIÓN IMPORTANTE**

Lea atentamente todas las instrucciones y acate los consejos y recomendaciones que se dan para su seguridad y buen funcionamiento del equipo en el manual de instrucciones. La mayoría de los accidentes en el uso de diferentes equipos es debido al incumplimiento de las medidas elementales de seguridad. Identificando a tiempo las potenciales situaciones peligrosas y respetando las reglas de seguridad adecuadas, será posible prevenir los accidentes. Las reglas fundamentales para la seguridad se describen en la sección “SEGURIDAD” de este manual y también en la sección relativa al uso y mantenimiento del equipo. Las situaciones peligrosas a evitar para prevenir todos los riesgos de lesiones graves o daños a la máquina se describen en la sección “ADVERTENCIAS” en el manual de instrucciones. No utilizar jamás el equipo de modo inadecuado, sino sólo como lo aconseja éste manual. A menos que se esté absolutamente seguro de que el equipo no es peligroso para el usuario o las personas que estén cerca de él, y esté familiarizado con su funcionamiento, evite ponerlo en marcha.

### **INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD GENERALES**

**ADVERTENCIAS:** Indica una situación potencialmente peligrosa que, si se ignora, puede causar graves daños.

**PRECAUCIONES:** Indica una situación peligrosa que, si se ignora, puede causar daños leves a las personas o a la máquina.

### **INSTRUCCIONES GENERALES DE SEGURIDAD PARA EQUIPOS ELÉCTRICOS**

**SEGURIDAD:** Instrucciones importantes para el uso seguro del equipo.

**¡CUIDADO!** El uso inadecuado y el incorrecto mantenimiento de este equipo pueden causar lesiones físicas al usuario. Para evitar estos riesgos, se recomienda encarecidamente respetar las siguientes instrucciones:

### 1. NO TOCAR LAS PARTES EN MOVIMIENTO

No coloque jamás sus manos, dedos u otras partes del cuerpo cerca de partes en movimiento del compresor.

### 2. NO USAR EL EQUIPO SIN LAS PROTECCIONES MONTADAS

No utilice jamás el equipo sin que todas las protecciones especialmente las del compresor estén perfectamente montadas (por ej. carenadura, cubre correa, válvula de seguridad). Si las operaciones de mantenimiento o asistencia requieren la remoción de estas protecciones, asegúrese de que antes de utilizar de nuevo el equipo las protecciones estén bien fijadas en su correspondiente lugar y la tapa de la cámara colocada.

### 3. UTILIZAR SIEMPRE GAFAS DE PROTECCIÓN

Utilice siempre gafas o protecciones análogas para los ojos. No dirija el aire comprimido hacia ninguna parte de su cuerpo o del de otras personas.

### 4. PROTEGERSE CONTRA LOS CHOQUES ELÉCTRICOS

Prevenga los contactos accidentales del cuerpo con partes energizadas del equipo, tales como cables, sistema de calefacción, compresor y el interior del panel de control

### 5. DESCONECTAR EL EQUIPO

Desconecte el equipo de la fuente de energía eléctrica y descargue completamente la presión del estanque antes de ejecutar cualquier operación de asistencia, inspección, mantenimiento, limpieza, cambio o control de piezas.

### 6. ARRANQUES ACCIDENTALES

No transportar el compresor mientras está conectado a la fuente de energía eléctrica o cuando el estanque está bajo presión. Asegúrese de que el interruptor del presostato esté en la posición OFF antes de conectar el compresor al suministro eléctrico.

### 7. ALMACENAR EL EQUIPO DE MODO ADECUADO

Cuando el equipo no es utilizado, hay que almacenarlo en un ambiente seco, lejos de la acción de agentes atmosféricos. Preferiblemente cúbralo con un plástico si el tiempo de almacenamiento va a ser prolongado. Mantenga lejos a los niños.

### 8. ZONA DE TRABAJO

Mantenga la zona de trabajo limpia y eventualmente libere la misma de herramientas que no sean necesarias. Mantenga la zona de trabajo bien ventilada. No utilice el equipo en presencia de líquidos inflamables o gases. El equipo y especialmente el compresor puede producir chispas durante su funcionamiento.

No utilice el equipo en situaciones en donde es posible encontrar barnices, gasolinas, sustancias químicas, adhesivas u otro material combustible o explosivo.

#### 9. MANTENER LEJOS A LAS PERSONAS

Evite que cualquier persona que no sea idónea entre en contacto con el cable de alimentación del equipo. Las personas ajenas deben mantenerse a una distancia apropiada de seguridad de la zona de trabajo.

#### 10. PRENDAS DE TRABAJO

No utilice indumentarias voluminosas o joyas ya podrían quedar atrapadas en las partes en movimiento o hacer contacto con elementos energizados. Lleve un gorro para cubrir el pelo si es necesario.

#### 11. NO ABUSAR DEL CABLE DE ALIMENTACIÓN

No desconecte el enchufe de corriente tirando del cable de alimentación. Mantenga el cable de alimentación lejos del calor, aceite y superficies cortantes. No pise el cable eléctrico ni lo aplaste con pesos inadecuados.

#### 12. MANTENER EL EQUIPO CUIDADOSAMENTE

Siga las instrucciones para la limpieza y mantenimiento del equipo. El compresor es libre de aceite por lo que no se requiere de ningún tipo de lubricación. Inspeccione el cable de alimentación periódicamente y si está dañado hágalo reparar o cambiar por un electricista. Compruebe que el aspecto exterior del equipo no presente anomalías visuales. De ser así, consulte eventualmente con una persona especializada.

#### 13. PROLONGACIONES DE CABLE PARA USO LEJANO

Cuando el equipo se utiliza en un sitio distante de la toma eléctrica de alimentación, utilice solamente prolongaciones o extensiones de cable, que puedan manejar de forma adecuada la corriente que consume el equipo y que tenga línea de tierra.

14. ¡CUIDADO!: Preste atención a la tarea que está efectuando. Manténgase alerta. No utilice el equipo cuando está cansado. El equipo no debe ser utilizado jamás si usted está bajo el efecto de alcohol, drogas o medicinas que puedan inducir somnolencia.

#### 15. CONTROLAR LAS PIEZAS DEFECTUOSAS, LAS GOTERAS Y ESCAPES DE LÍQUIDOS O PÉRDIDAS DE AIRE

Antes de volver a utilizar el equipo, si una protección o alguna otra pieza, está deteriorada o dañada debe ser controlada atentamente para evaluar si puede funcionar con seguridad. Se debe controlar especialmente la alineación de las partes en movimiento, tubos, manómetros, reguladores de presión, conexiones neumáticas e hidráulicas y cualquier otra parte que tenga importancia en el funcionamiento normal de la máquina. Toda pieza dañada debe ser correctamente

reparada o sustituida por personal capacitado o cambiada como se indica en el manual de instrucciones. NO UTILICE EL EQUIPO SI ENCUENTRA ALGÚN CONTROLADOR DEFECTUOSO.

**16. UTILIZAR EL EQUIPO EXCLUSIVAMENTE PARA LAS APLICACIONES ESPECIFICADAS EN EL SIGUIENTE MANUAL DE INSTRUCCIONES**

El equipo es una máquina para realizar ensayos de corrosión. No utilice jamás el equipo para usos diferentes de los especificados en este manual de instrucciones.

**17. UTILIZAR EL EQUIPO CORRECTAMENTE**

Ponga en funcionamiento el equipo conforme a las instrucciones de este manual. No deje utilizar el equipo a los niños o a personas que no tienen familiaridad con su funcionamiento.

**18. COMPROBAR QUE LAS, REPISAS, TANQUES CUERPO DE LA CÁMARA Y TAPAS ESTÉN FIRMEMENTE FIJADOS.**

Compruebe que toda, repisa, tanque, cámara, tapas, tornillos y otros estén firmemente fijados. Compruebe periódicamente que estén bien ajustados.

**19. MANTENER LIMPIA LA REJILLA DE ASPIRACIÓN Y LAS VÁLVULAS DE PURGA**

Mantenga la rejilla de ventilación del motor limpia. Limpie regularmente esta rejilla si el ambiente de trabajo es demasiado polvoriento o sucio. Mantenga las válvulas de purga de la cámara; limpias y libres de elementos que puedan causar obstrucciones.

**20. HACER FUNCIONAR EL EQUIPO AL VOLTAJE NOMINAL**

Haga funcionar el equipo a la diferencia de potencial especificada en la placa de los datos de trabajo. Si el equipo se utiliza a una tensión superior a la nominal, el motor del compresor efectuará más revoluciones, corriendo el riesgo de quemarse, lo que puede dañar la unidad. Así mismo las unidades calefactoras y elementos de control podrán también quemarse.

**21. NO UTILIZAR JAMÁS EL EQUIPO SI ESTÁ DEFECTUOSO**

Si el equipo y especialmente el compresor trabaja produciendo ruidos extraños, excesivas vibraciones o pareciera defectuoso, interrumpa su funcionamiento inmediatamente y compruebe el estado o contáctese con personal capacitado.

**22. NO LIMPIAR LAS PARTES DE PLÁSTICO CON DISOLVENTES**

Disolventes tales como gasolina, diluyentes u otras sustancias que contienen alcohol pueden dañar las piezas de plástico, no refriegue con estas sustancias las partes de plástico. Limpie eventualmente estas partes con un paño suave humedecido en agua de la llave y jabón o líquidos adecuados.

**23. UTILIZAR SOLO PIEZAS DE REPUESTO ORIGINALES O EQUIVALENTES**

El uso de piezas de repuesto no originales en el compresor invalida su garantía y producen desperfectos en el funcionamiento. Las piezas de repuesto originales están disponibles en los distribuidores autorizados. Para las demás partes del equipo se deben utilizar elementos iguales o equivalentes pero siempre de marcas certificadas.

#### 24. NO MODIFICAR EL EQUIPO

No modifique el equipo. Diríjase a una persona especializada para cualquier tipo de reparación. Una modificación no adecuada puede disminuir las prestaciones del equipo y puede ser causa de graves accidentes para las personas que no poseen el conocimiento técnico necesario para ejecutar modificaciones a la máquina.

#### 25. APAGAR EL EQUIPO CUANDO NO SE UTILIZA

Cuando el equipo no está en funcionamiento, coloque el botón del presostato del compresor en la posición “0” (OFF), desconéctelo de la toma eléctrica. De la misma manera mantenga la parada de emergencia del panel de control accionada y desconecte el equipo de la toma de corriente. Despresurice el humidificador y abra el grifo de línea para descargar el aire comprimido del estanque. Desocupe los tanques de agua y de solución, el humidificador y el reservorio. Desocupe el condensado de la cámara y seque y limpie todas las partes del equipo antes de almacenar

#### 26. NO TOCAR LAS PARTES CALIENTES DEL EQUIPO

Para prevenir quemaduras, no toque los tubos o el motor del compresor y las unidades calefactores.

#### 27. NO DIRIGIR EL CHORRO DE AIRE O DE SOLUCIÓN DIRECTAMENTE HACIA EL CUERPO

Para prevenir riesgos, no dirija jamás el chorro de aire o de la solución atomizada hacia personas.

#### 28. DESAGUAR EL CONDENSADO DEL ESTANQUE

Purgue el estanque al finalizar el ensayo y cada 12 horas de trabajo. Abra el dispositivo de desagüe e incline el compresor si es necesario para remover el agua acumulada. Ésta operación se puede hacer directamente a la cañería.

#### 29. NO PARAR O DESCONECTAR EL EQUIPO TIRANDO DEL CABLE DE ALIMENTACIÓN

Utilice el interruptor “O/I” (ON/OFF) del presostato para detener el compresor y el pulsador de parada o el interruptor de emergencia para apagar el equipo.

#### 30. CIRCUITO NEUMÁTICO

Utilice tubos, herramientas neumáticas recomendadas que soportan una presión superior o igual a la máxima presión de trabajo del compresor que es de 116 PSI



## **PIEZAS DE REPUESTO**

Todas las piezas y elementos utilizados en la fabricación de la cámara, son de fácil consecución en el mercado.

En caso de reparaciones, utilizar únicamente piezas de repuesto idénticas a las piezas sustituidas. Las reparaciones deben ser efectuadas exclusivamente por personal capacitado.

Para el compresor, se deben utilizar únicamente piezas de repuesto originales idénticas. Solicite asistencia en un centro autorizado de la marca o diríjase al almacén HOME CENTER más cercano donde le dan información de los centros de atención.

Para piezas constitutivas de la cámara, éstas si es necesario reemplazarlas se consiguen fácilmente en el mercado y pueden ser reemplazadas por cualquier persona con conocimientos básicos, bien sea en electricidad o neumática.

## **INSTRUCCIONES PARA LA CONEXIÓN A TIERRA**

Advertencia: Este equipo debe estar conectado a tierra durante su funcionamiento para proteger al operador contra choques eléctricos. El compresor monofásico está provisto de un cable bipolar más tierra. Se recomienda no desmontar jamás el compresor ni efectuar otras conexiones en el presostato. Cualquier reparación debe ser ejecutada exclusivamente por centros de asistencia autorizados u otros centros calificados. El equipo se alimenta con un cable bipolar más tierra y por lo tanto debe ser conectado a una toma monofásica polarizada y con polo a tierra. Recordar siempre que el hilo de puesta a tierra es el verde o amarillo/verde. No conectar jamás este hilo verde a un terminal sin protección. Antes de cambiar el enchufe del cable de alimentación, asegurarse de conectar el hilo de tierra. En caso de dudas, contactar a un electricista calificado y hacer controlar la puesta a tierra.

## **USO DE EXTENSIONES**

Utilizar exclusivamente extensiones con enchufe y conexión a tierra; no utilizar prolongaciones dañadas o aplastadas. Asegurarse de que la prolongación esté en buenas condiciones. Cuando se utiliza una prolongación de cable, asegurarse de que la sección del cable sea suficiente para llevar la corriente absorbida por la máquina que se conectará. Una prolongación demasiado delgada puede producir caídas de tensión y por lo tanto un elevado consumo de corriente, así como un excesivo recalentamiento de la máquina. La prolongación de cable de los equipos

monofásicos debe poseer una sección proporcional a su longitud. Utilice extensiones encauchetadas 3 X 12 AWG.

### **ADVERTENCIAS**

Prevenga todos los riesgos de choques eléctricos. No utilice jamás el equipo con cable eléctrico o prolongación dañados. Controle regularmente los cables eléctricos. No utilice jamás el compresor dentro del agua o en las proximidades de un ambiente peligroso en donde se pueden producir descargas eléctricas.

**FAVOR, CONSERVAR ESTAS INSTRUCCIONES DE USO Y MANTENIMIENTO Y PONERLAS AL ALCANCE DE LAS PERSONAS QUE DESEAN UTILIZAR ESTE EQUIPO.**

## **USO Y MANTENIMIENTO**

NOTA: La información que Ud. encontrará en este manual ha sido escrita para asistir al operador durante el uso y las operaciones de mantenimiento del equipo.

## **INSTRUCCIONES DE USO DE LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA**

### **INSTALACIÓN**

Después de haber revisado las diferentes partes que conforman el equipo y haber comprobado su perfecta integridad, asegurándose de que no haya sufrido daños durante el transporte, ejecutar las siguientes operaciones:

- 1- Colocar la mesa de soporte del equipo sobre el piso, el cual debe ser una superficie plana y nivelada y cerca de una toma eléctrica. Bloquee las ruedas.
2. Colocar los tanques de agua y de solución en la repisa superior de forma que los ductos de salida queden hacia cada uno de los lados de la mesa de soporte. El tanque de agua debe quedar a la izquierda y el tanque de solución salina a la derecha cuando se mira desde el frente.
3. Colocar el cuerpo de la cámara sobre la repisa central de tal forma que quede entre los cauchos de fijación instalados en ésta. El reservorio de solución salina debe quedar hacia el lado derecho.

4. Conectar las mangueras de alimentación de solución a cada uno de los lados de la tee a la entrada del reservorio.
5. Colocar el humidificador en la parte izquierda de cuerpo de la cámara.
6. Conectar las mangueras de alimentación de agua, a cada uno de los lados de la entrada del humidificador.
7. Colocar el compresor en la repisa inferior de la mesa de soporte.
8. Conectar la manguera de aire de salida del compresor al regulador y a su vez la salida de éste al humidificador.
9. Conectar la salida del humidificador a la entrada de la cámara pasando por la válvula de despresurización.
10. Llenar completamente los tanques superiores de agua y de solución salina verificando que la válvula de salida de ambos esté cerrada.  
El equipo estará listo para usarse

## **INSTRUCCIONES PARA EL USO**

### **CONEXIÓN ELÉCTRICA**

El equipo se suministra dotado de un cable eléctrico y una clavija de corriente bipolar + tierra. Es muy importante conectar el equipo a una toma eléctrica de corriente provista de conexión a tierra.

NOTA: Cualquier daño causado por conexiones erróneas de la alimentación a la línea, invalida automáticamente la garantía del compresor y de cualquiera de los componentes eléctricos. Para evitar conexiones erróneas, es aconsejable que éstas las realice alguno de los fabricantes del equipo o una persona que esté familiarizada con éste.

¡CUIDADO! No utilizar jamás la toma de tierra en el lugar del neutro. La conexión a tierra se debe ejecutar en concordancia con el RETIE y con las norma 2050-2015 del ICONTEC. Así mismo se recomienda ejecutar la instalación según las normas contra accidentes (EN 60204). La clavija del cable de alimentación no debe ser utilizada como interruptor, sino que se debe conectar a una toma de corriente protegida con un interruptor termo magnético de máximo 25 Amperios

## **PUESTA EN MARCHA**

¡CUIDADO! El agua salada es altamente conductora. Por lo tanto se recomienda para evitar posibles descargas eléctricas colocarse guantes de nitrilo de caña larga y botas dieléctricas, antes de operar el equipo. De la misma manera ponga un tapete de caucho al frente de la máquina y párese sobre este cuando vaya a realizar cualquier operación en ella.

¡CUIDADO! Si observa cualquier anomalía y especialmente cualquier escape o goteo de líquido, apague inmediatamente el equipo y desconéctelo de la red eléctrica de suministro. Repare las fallas evidenciadas, antes de poner en marcha nuevamente la máquina.

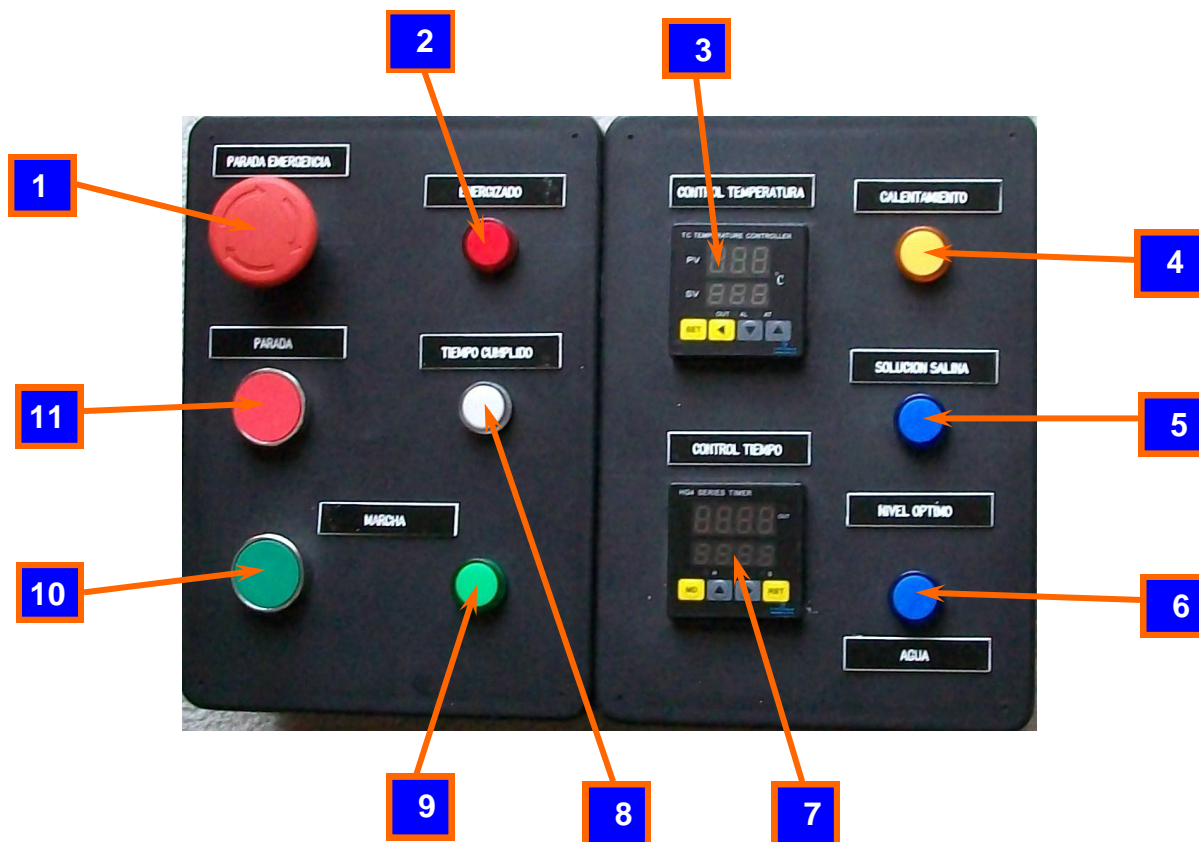
Cualquier desatención o descuido a las anteriores recomendaciones, puede resultar en daños y lesiones graves o la muerte.

El equipo está diseñado para trabajar con la mínima intervención del operador. Sin embargo haga inspecciones por lo menos cada hora o menos si es necesario y evacúe los líquidos en exceso que se van depositando por condensación en la canal, el recolector de agua sucia y el fondo de la cámara. Así mismo complete los niveles de agua y de solución salina de tal forma que los pilotos azules permanezcan encendidos, sobre todo si tiene el equipo en operación manual. Si mantiene la válvula de alimentación automática abierta durante la operación del equipo, los niveles se mantendrán en el punto óptimo de forma automática.

Conectar el equipo a la red eléctrica. Controlar que el voltaje de la red corresponda a 120 V A.C; el campo de tolerancia admitido debe oscilar dentro del  $\pm 5\%$ .

Presionar el presostato montado en el compresor. El botón está colocado en la parte superior de éste y debe quedar en la posición "0". Conectar el enchufe en la toma de corriente ubicada en la parte posterior del equipo y poner en funcionamiento el compresor llevando el botón del presostato a la posición "I" (ON). El funcionamiento del compresor es completamente automático, mandado por el presostato que interrumpe su funcionamiento cuando la presión del estanque alcanza el valor máximo y lo repone en marcha cuando desciende al valor mínimo. En general, la diferencia de presión es de unos 2 bar (29 psi) entre el valor máximo y el valor mínimo. Por ej.: el compresor se detiene cuando alcanza 8 bar (116 psi) (máxima presión de trabajo) y se pone en marcha automáticamente cuando la presión del tanque ha bajado a 6 bar (87 psi). Después de haber conectado el compresor a la línea eléctrica, ejecutar una carga a la presión máxima y comprobar el correcto funcionamiento de la máquina. El compresor tarda aproximadamente un minuto en cargarse completamente.

## TABLERO ELÉCTRICO DE CONTROL



- 1 Interruptor de parada de emergencia
- 2 Piloto indicador de energización
- 3 Controlador e indicador digital de temperatura
- 4 Piloto indicador de energización del sistema de calentamiento
- 5 Piloto indicador de nivel óptimo del reservorio de solución salina
- 6 Piloto indicador de nivel óptimo de agua del humidificador
- 7 Controlador e indicador digital de tiempo
- 8 Piloto indicador de tiempo cumplido
- 9 Piloto indicador de funcionamiento del equipo
- 10 Pulsador rasante verde de arranque
- 11 Pulsador rasante rojo de parada

## **Pasos para la puesta en marcha del equipo**

1. Colocar cuidadosamente las probetas en la porta probetas.
2. Ubique la tapa en la canal de la cámara lo más centrada posible.
3. Llene la canal de la cámara con solución salina hasta una altura de aproximadamente  $4 \pm 1$  mm, para formar el sello de agua.
4. Girar el botón de parada de emergencia para desenclavarlo; en ese momento se enciende el piloto rojo indicando que la máquina está energizada.
5. Halar hacia arriba el botón rojo del presostato del compresor. Este arrancará y comenzará a cargarse. Cuando el tanque llegue a su presión máxima se apagará automáticamente. Ésta operación dura aproximadamente un minuto.
6. Abrir la válvula de salida del tanque de agua. Abra la válvula para operación manual de alimentación del humidificador. A continuación esperar unos segundos hasta que el nivel de líquido llegue a la marca indicada en el depósito del humidificador y cuando esto suceda, cierre la válvula. Cuando ponga en marcha el equipo, encenderá el piloto azul de indicación de nivel óptimo.
7. Abrir la válvula de salida del tanque de solución salina. Abra la válvula para operación manual de alimentación del reservorio. A continuación esperar unos segundos hasta que el nivel de líquido llegue a la marca indicada en el reservorio, y cuando esto suceda, cierre la válvula. Cuando ponga en marcha el equipo, se encenderá el piloto azul de indicación de nivel óptimo.
8. Oprimir el pulsador verde de marcha. Se encenderán el piloto verde y los controladores de temperatura y tiempo. Así mismo se encenderá el piloto amarillo indicando que todo el sistema de calefacción está en operación y se activarán todos los elementos calefactores. Si los niveles de agua y de solución salina son óptimos, se encenderán los pilotos azules correspondientes.
9. Programar la temperatura en el controlador la cual debe ser de  $35^{\circ}$ . Los indicadores mostrarán permanentemente la temperatura programada y la temperatura interna de la cámara.
10. Programar el tiempo de duración del ensayo en horas en el controlador. Los indicadores mostrarán permanentemente el tiempo programado y el tiempo transcurrido.
11. Ajustar y verificar la presión adecuada en los manómetros. El manómetro de presión máxima del compresor debe ser de 116 PSI. La presión regulada a la

salida del compresor debe ser de 30 PSI. El regulador de presión para suministro de aire al equipo debe estar a 25 PSI

12. Abrir la válvula de salida de aire del compresor y verificar que se inicie la atomización de la solución salina

13. Cuando el tiempo del ensayo programado se haya cumplido, se encenderá el piloto blanco. Oprimir el pulsador rojo de parada. El ensayo terminará.

14. Oprimir el botón rasante rojo de parada.

15. Oprimir el botón rojo de parada de emergencia. Se apagará el piloto rojo de energización.

16. Oprimir el pulsador rojo del presostato del compresor ubicado en la parte superior de éste.

17. Sacar las probetas retirando cuidadosamente la tapa. Retirar también el porta probetas.

18. Desconectar el compresor de la toma eléctrica ubicada en la parte posterior.

19. Despresurice el sistema y cierre la válvula de salida del compresor.

20. Desconectar el equipo de la red tomando el cable por la clavija. No lo haga tirando directamente del cable.

21. Purgar el tanque del compresor

22. Evacuar toda la humedad de la cámara a través de los grifos de purga que por medio de mangueras están comunicados con los depósitos respectivos ubicados en la parte inferior del equipo. Si es necesario inclinar ligeramente.

23. Limpiar y secar completamente el equipo con un paño suave y absorbente. No utilizar ningún tipo de abrasivo. Si hay alguna mancha o suciedad puede usar detergente líquido para loza o un jabón suave de manos. No utilizar gasolina, thinner u otras sustancias diferentes a las aquí indicadas.

Para la limpieza utilice guantas de nitrilo, careta de seguridad y tapabocas.

### **3.2.1. Toma de datos del ensayo de corrosión**

Los ensayos de corrosión de una cámara de niebla salina pueden durar de 3 a 7 días o más por lo cual se puede hacer una toma de datos después de este

periodo de tiempo, observando y anotando las diferentes variables a causa del cambio que sufrió el material.

Parámetros que se pueden determinar o calcular:

- Grado de corrosión del material metálico
- Cambio de espesor del material metálico
- Peso perdido del material metálico debido a la corrosión
- Cambios en la resistencia a la tracción del material metálico
- Cambios en la conductividad eléctrica del material metálico

### **3.2.2. Preparación de superficies**

Se hace necesario que al momento de realizar los ensayos de corrosión nos aseguremos de que la superficie de la probetas sea la ideal realizando tratamientos de limpieza como un tratamiento químico, esmerilado con una lija fuerte de modo que se homogenice la superficie y si el recubrimiento es no metálico se debe realizar un tratamiento de limpieza no agresivo como la limpieza con paños húmedos con una mezcla de agua y alcohol.

### **3.2.3. Peso perdido de un material metálico debido a la corrosión:**

Consiste en pesar las probetas antes de realizar el ensayo, para luego ir sacando una por una en diferentes periodos de tiempo para después limpiarla y pesarla de nuevo. B y así poder establecer la perdida de material que sufrió debido a la corrosión.

### **3.2.4. Cambios en la conductividad eléctrica del material metálico:**

Esta técnica consiste en medir la conductividad eléctrica de las probetas antes y después de realizar el ensayo ya que de esta forma podemos medir el cambio de esta debido a la pérdida de material.

### **3.2.5. Cambios en la resistencia a la tracción del material metálico:**

Consiste en medir la resistencia a la tracción de las probetas antes y después de realizar el ensayo para establecer el cambio de esta.

Ventajas Del Termo rociado: Resistencia al desgaste por: Abrasión, Cavitación, Erosión, Resistencia a la corrosión por agentes agresivos: Ácidos, Gases sulfurosos y solventes.



#### 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

El proyecto planteado se puede justificar económicamente bajo la instancia de la promoción del mismo por parte de una institución educativa como lo es La Fundación Universitaria Los Libertadores. La inversión que representa el costo monetario que realiza la institución es nulo en lo que representa el equipo, y el único aporte institucional corresponde al espacio físico y costos de instalación, funcionamiento y mantenimiento, que aunque no tengan un retorno económico si tiene un retorno social al ayudar a formar ingenieros con competencias en corrosión, y también es evidente que el costo comercial del equipo es varias veces superior a la inversión que se realiza, teniendo en cuenta que la construcción y mano de obra corren por cuenta de los proponentes así como todos los elementos de mayor y menor cuantía.

Más fácilmente, se puede interpretar una ganancia a partir de los beneficios educativos (teórico – prácticos) que puede recibir la comunidad educativa perteneciente a la facultad de ingeniería y específicamente a las especialidades de mecánica y aeronáutica, que podrán acceder a un equipo que les brinda la oportunidad de realizar prácticas y talleres de corrosión lo que conlleva a la apropiación del conocimiento en unas condiciones similares a las que se hacen en el contexto industrial y en el medio laboral.

También es importante resaltar el beneficio a la imagen de la institución que se obtiene al tener un laboratorio dotado de un equipo que está destinado a algún laboratorio especializado o a instituciones educativas de gran prestigio y reconocida trayectoria y la confianza que se genera en la comunidad estudiantil.

Bien podría tenerse en cuenta la posibilidad de promocionar estudios de corrosión para la industria lo cual posibilitaría un retorno económico ya que la cámara deberá cumplir con las normas internacionales y específicamente con la ASTM B-117, y así mismo habría una integración importante entre la universidad y el sector empresarial.

Teniendo en cuenta los programas de ingenierías mecánica y aeronáutica, se puede observar un plan académico que contiene entre otras, las asignaturas de corrosión, procesos de manufactura, procesos de fabricación y algunas otras relacionadas como química o ciencia de los materiales que exigen un laboratorio dotado adecuadamente y con equipos de última tecnología. Es así como la cámara de niebla salina es uno de esos equipos que contribuirían en gran medida a que la institución tuviera un laboratorio óptimo para el desarrollo de prácticas en las asignaturas antes mencionadas a un costo mínimo y con una retribución significativa en lo concerniente al número de estudiantes beneficiados.

## 5. PRESUPUESTO

Con el fin de sustentar y justificar el costo de fabricación de la cámara de niebla salina, se realizó un diseño y dimensionamiento preliminar al cual se le anexó un estimado de algunos elementos con base en un diseño preliminar. Es por esto que de alguna forma se pueden presentar variaciones en el costo final del proyecto. No obstante esta variación no debería ser significativa ya que los elementos de mayor impacto en el análisis de costos están incluidos en las cotizaciones que se presentan a continuación en las tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 junto con los proveedores consultados.

**Tabla 1. Presupuesto del cuerpo, cubierta y estructura de la cámara**

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR Pesos Col.	PROVEEDOR
1	DEPÓSITO DE RESERVA DE SOLUCIÓN INTERNO	Fabricado en acrílico de 5 mm de espesor con capacidad de 3000 cm <sup>3</sup>	1	50.000	PLASCOMIN PLÁSTICOS COMPAÑÍA INDUSTRIAL Cra 33 N° 7 - 11 Tel 2777753
2	CUERPO DE LA CÁMARA	Fabricado en acrílico de 5mm de 40 X 30 X 30 con canales laterales en la parte superior (según diseño)	1	250.000	PLASCOMIN PLÁSTICOS COMPAÑÍA INDUSTRIAL Cra 33 N° 7 - 11 Tel 2777753
3	TAPA DE LA CÁMARA	Fabricada en acrílico de 5 mm en V invertida con ángulo de 125° (según diseño)	1	100.000	PLASCOMIN PLÁSTICOS COMPAÑÍA INDUSTRIAL Cra 33 N° 7 - 11 Tel 2777753

Fuente: Autores del proyecto

**Total costos tabla 1: \$ 400.000**

**Tabla 2. Presupuesto de elementos eléctricos**

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR Pesos Col	PROVEEDOR
4	PROTECCIÓN PRINCIPAL	Interruptor mono polar electro o termo magnético de 25 A para montaje en riel omega	1	25.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431600
5	PROTECCIÓN DEL COMPRESOR	Interruptor mono polar electro o termo magnético de 16 A para montaje en riel omega	1	25.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431601
6	PROTECCIÓN DE LOS ELEMENTOS CALEFACTORES	Interruptor mono polar electro o termo magnético de 10 A para montaje en riel omega	1	25.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431602
7	PROTECCIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL	Porta fusible de montaje en riel omega con fusible de vidrio de 3 A	1	10.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431603
8	RIEL OMEGA	Riel por 2 metros	3	20.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431604
9	COFRE PARA EL TABLERO PRINCIPAL	Plástico 30x 20 x10	1	25.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431605
10	CONTROLADOR DE TEMPERATURA	Autonics de 48 X 48 mm	1	150.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431607
11	MUEBLE AUTO SOPORTADO EN MADERA Y METAL		1	100.000	ALMACENES ÉXITO

## Continuación

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR Pesos Col	PROVEEDOR
12	CONTROLADOR DE TIEMPO	Electrónico, de 48 X 48 mm, 0- 999 horas	1	180.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
13	TERMO CUPLA TIPO J	4 Pulgadas	1	20.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
14	SONDA DE TEMPERATURA Y CALEFACTOR AUXILIAR	Tipo Bulbo de inmersión completa para 40 C	1	30.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
15	SENSORES DE NIVEL DE SOLUCIÓN	Tipo Reed-switch	4	16.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
16	CALEFACTOR PRINCIPAL	Bombillos alógenos de 50 w cada uno a 120 V	7	42.000	NACIONAL DE RESISTENCIAS INDUSTRIALES Av. Caracas N° 64 - 28 tel 4826263
17	RELEVOS DE MANDO	Relevo auxiliar de 4 contactos 14 pines con bobina a 120 VAC	4	44.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
18	BASE PARA RELEVO	4 Contactos 14 pines	4	12.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
19	SEÑALIZACIÓN LUMINOSA	Piloto verde 120 V a.c. 16 mm	1	8.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608

## Continuación

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR Pesos Col	PROVEEDOR
20	SEÑALIZACIÓN LUMINOSA	Piloto amarillo de 120 V a.c. 16 mm	1	8.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
21	SEÑALIZACIÓN LUMINOSA	Piloto rojo a 120 V a.c. 16mm	1	8.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
22	SEÑALIZACIÓN LUMINOSA	Piloto blanco a 120 V a.c. 16mm	1	8.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
23	SEÑALIZACIÓN LUMINOSA	Piloto Azul a 120 V a.c. 16mm	2	16.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
24	PARADA DE EMERGENCIA	Hongo de seguridad Con contacto cerrado	1	30.000	INDUSTRIAL DE CONTACTORES Y CABLES LTDA CARRERA 12 N° 15 - 64 TEL: 282 62 82
25	BORNERA	En baquelita por 6 puestos cable AWG 16	2	10.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
26	CABLE ENCAUCHETADO	Cable rencauchutado 3 X 14 awg certificado	2 metros	8.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
27	CABLE N° 16	Cable automotriz N° 16 m	10 metros	6.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608

Continuación

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR Pesos Col	PROVEEDOR
28	CAJAS AUXILIARES	Plástico de 10 x 10 x 4 cm	2	10.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
29	PULSADOR NORMALMENTE CERRADO	Pulsador rojo de 22 mm	1	20.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
30	PULSADOR NORMALMENTE ABIERTO	Pulsador verde de 22 mm	1	20.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
31	TOMA DOBLE	Monofásica con polo a tierra	1	5.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608

Fuente: Autores del proyecto

**Total costos tabla 2: \$ 881.000**

**Tabla 3. Presupuesto de elementos neumáticos**

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR Pesos Col	PROVEEDOR
32	COMPRESOR	De pistón con motor de 1/5 HP, presión de 116 PSI, libre de aceite, Y tanque de 6 litros.	1	300.000	HOME CENTER
33	UNIDAD DE MANTENIMIENTO	Solamente con filtro y regulador de presión	1	75.000	E..M.C Calle 15 N° 25 -59 Tel 2012692

Continuación

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR Pesos Col	PROVEDOR
34	UNIÓN PASAMUROS	Para aire De 4 mm	1	7.000	E.M.C Calle 15 N° 25 -59 Tel 2012692
35	REDUCCION PARA MANGUERA DE AIRE	De 6 a 4 mm	1	5.000	E.M.C Calle 15 N° 25 -59 Tel 2012692
36	BOQUILLA ATOMIZADORA	Fabricada en plástico KYNAR, PVDF (polivinildenofluoruro)	1	5.000	E.M.C Calle 15 N° 25 -59 Tel 2012692
37	REDUCCION PARA MANGUERA DE AIRE	De 10 a 8 mm	1	5.000	E.M.C Calle 15 N° 25 -59 Tel 2012692
38	UNIÓN PASAMUROS	Para aire de 6mm	2	14.000	E.M.C Calle 15 N° 25 -59 Tel 2012692
39	UNIÓN TEE PARA AIRE	de 6 mm	4	6.000	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
40	MANGUERA PARA AIRE	Fabricada en poliuretano de 6 mm	2	8.000	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340

Continuación

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR Pesos Col	PROVEDOR
41	MANGUERA PARA AIRE	Fabricada en poliuretano de 8 mm	2	8.000	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
42	MANGUERA PARA AIRE	Fabricada en poliuretano de 10 mm	2	9.000	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
43	MANGUERA PARA AIRE	Fabricada en poliuretano de 4 mm	1	3.000	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
44	RACOR RECTO	Para aire de 6 mm	6	8.000	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
45	RACOR RECTO	Para aire de 8 mm	2	8.000	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340 WP
46	RACOR RECTO	Para aire de 10 mm	2	8.000	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
47	RACOR RECTO	Para aire de 4 mm	2	8.000	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
48	ACOPLE RAPIDO	Metálico para manguera de 10 mm	1	15.000	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340

Fuente: Autores del proyecto

**Total costos tabla 3: \$ 492.000**



**Tabla 4. Presupuesto de Elementos Hidráulicos**

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR Pesos Col	PROVEDOR
49	TANQUE PRINCIPAL DE SOLUCION	En plástico de 5 galones	1	10.000	HOME CENTER
50	TANQUE PRINCIPAL DE AGUA	En plástico de 5 galones	1	10.000	HOME CENTER
51	VALVULAS DE BOLA	En pvc de ½	6	30.000	HOME CENTER
52	ACOPLE FLEXIBLE SANITARIO	En plástico Blanco	4	16.000	HOME CENTER
53	TEE	En polipropileno de 1/2	4	2.000	HOME CENTER
54	UNION HEMBRA	En polipropileno de 1/2	5	15.000	HOME CENTER
55	CODO MACHO HEMBRA	En polipropileno de 1/2	6	18.000	HOME CENTER
56	TANQUE HUMEDIFICADOR	En acero inoxidable	1	80.000	TALLER DE SOLDADURA

Continuación

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR Pesos Col	PROVEDOR
57	TAPON MACHO	En polipropileno de 1/2	4	4.000	HOME CENTER
58	SEMI CODO	En polipropileno de 1/2	2	6.000	HOME CENTER
59	TUBO EN ACRILICO	De 1/2 Por 20 cm	2	20.000	HOME CENTER
60	ELECTRO VALVULAS	A 120 Voltios Tipo lavadora	2	40.000	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
61	MINI VALVULAS	De 90 grados en plástico blanco	4	12.000	HOME CENTER
62	MANGUERA PLASTICA	Transparente de 5 mm	4	4.000	HOME CENTER
63	UNIONES MACHO	En polipropileno de 1/2	8	8.000	HOME CENTER

Fuente: Autores del proyecto

**Total costos tabla 4: \$ 275.000**

**Tabla 5. Presupuesto de Elementos Varios**

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR Pesos Col	PROVEDOR
64	CAUCHOS VARIOS	Diferentes tamaños y formas	30	15.000	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
65	ACRILICOS	Avisos tablero eléctrico	11	25.000	ACRÍLICOS DE LA 18 Calle 18 # 12-96
66	TORNILLOS	Diferentes medidas		9.000	HOME CENTER
67	ACOPLES HEMBRA PARA MANGUERA	Plástico color negro	2	6.000	HOME CENTER
68	AMARRES PLÁSTICOS	Bolsa por 100 unidades	1	3500	HOME CENTER
69	MANGUERAS PLÁSTICAS Y ACCESORIOS	Manguera de 5mm por 2 m y tee	2	9000	HOME CENTER

Fuente: Autores del proyecto

**Total costos tabla 5: \$ 67.500**

**Tabla 6. Costos totales por grupos de elementos**

Cuerpo, cubierta y estructura de la cámara	\$ 400.000
Elementos eléctricos	\$ 881.000
Elementos neumáticos	\$ 492.000
Costo total de elementos hidráulicos	\$ 275.000
Costo total de elementos varios	\$ 67.500

**VALOR TOTAL DEL PROYECTO \$ 2.115.500**

**Fuente:** Autores del proyecto

## 6. CRONOGRAMA DE DESARROLLO DEL PROYECTO

La realización de las diferentes actividades relacionadas con el desarrollo del proyecto se encuentran organizadas por meses, divididos en cuatro semanas cada uno, de acuerdo a un estimativo realizado previamente y que abarcan los meses de Julio a Noviembre del presente año en el diagrama que se muestra a continuación en la tabla 7.

**Tabla 7. Cronograma de actividades**

ACTIVIDADES	MES	1				2				3				4				5			
	SEMANA	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Investigación y recopilación de información		X	X	X	X	X															
Elaboración del anteproyecto					X	X	X	X	X												
Diseño y elaboración del presupuesto (cotizaciones de los materiales)								X	X	X	X										
Elaboración del trabajo escrito										X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Construcción de la cámara												X	X	X	X	X	X	X			
Elaboración del manual del equipo																		X	X		
Pruebas, ajustes y entrega																			X	X	X

**Fuente:** Autores del proyecto

## 7. CONCLUSIONES

El diseño y construcción de la cámara de niebla salina satisface plenamente los requerimientos establecidos por las normas ASTM B-117-11 cuando se prueba en vacío. Sin embargo se hace necesario realizar un ensayo de corrosión referencial, en donde las probetas ensayadas cumplan con una pérdida de masa que esté dentro del rango permitido que es de  $70 \pm 20$  g/m<sup>2</sup>.

La construcción de la cámara salina se realizó con materiales inertes y por lo tanto no corrosivos, como acrílico, PVC, acero inoxidable etc. por lo que su tiempo de vida no se va a ver afectado por la corrosión de sus partes. Así mismo se realizó un manual para uso y manejo del equipo y de ésta manera cumplir con los objetivos propuestos.

El controlador de tiempo utilizado es electrónico digital de doble display, el cual se muestra de gran utilidad, ya que favorece la visualización del tiempo programado del ensayo y del tiempo transcurrido. Adicionalmente la multiplicidad de funciones programables como alarma y cronómetro progresivo o regresivo le brindan una gran versatilidad.

El controlador de temperatura instalado, es de similares características al de tiempo, lo que permite toma de lecturas periódicas de forma fácil y rápida y sobre todo sin intervención del equipo además de las diversas funciones que permiten un control totalmente automático de la temperatura y gran confiabilidad.

Todas las anteriores características hacen que el equipo sea robusto, seguro y confiable, además de otorgar grandes beneficios didácticos al ser fácil de utilizar y poder visualizar el estado de las probetas en cualquier momento.

Por estar a la vista no solamente las probetas que están sometidas a ensayo, si no también todos los elementos constitutivos del equipo, éste resulta muy didáctico por el fenómeno de corrosión que se está analizando y también por el funcionamiento en sí de la cámara.

Adicionalmente, por la forma y los elementos utilizados en su fabricación, permite una fácil limpieza, ocupa poco espacio y cualquier elemento deteriorado o dañado es económico, de fácil remoción y reinstalación y con gran cantidad de distribuidores en el mercado con lo cual se garantiza confiabilidad y larga vida al equipo.

## 8. RECOMENDACIONES

El acabado estético de la cámara de niebla salina es susceptible de ser mejorado, especialmente en lo referente a los tanques de reserva de agua y de solución salina, así como también los de recolección de aguas residuales del proceso.

La implementación de un sensor de humedad relativa es optativo, pero se recomienda su instalación para poder realizar periódicamente la toma de datos de humedad durante un ensayo de corrosión.

En lo posible se deben utilizar guantes de nitrilo de caña larga para el manejo del equipo. Pueden utilizarse guantes de aseo común o si se desea mayor libertad de movimientos se pueden utilizar guantes de cirugía. De ser posible se deben utilizar botas dieléctricas o si no se tienen, puede colocarse un tapete de caucho al frente del equipo. Lo anterior garantiza el adecuado aislamiento para minimizar los riesgos de choque eléctrico ya que la solución salina es altamente conductora de la electricidad.

Las electroválvulas a pesar de tener el cuerpo en plástico y sellos de caucho están diseñadas para manejo de agua corriente y no de agentes corrosivos como la solución salina por lo que se desconoce la duración que pueda tener en el ambiente mencionado. Se recomienda hacerle un seguimiento especial a la electroválvula de control de nivel de solución salina y verificar su estado. De ser necesario debe ser reemplazada por una que permita el manejo del agente corrosivo.

Las lámparas calefactoras son de gran calidad y de marca reconocida mundialmente por lo que están certificadas para una duración de 1200 horas de trabajo. Para evitar posibles fallos durante alguno de los ensayos que se esté realizando, se recomienda cambiarlas cada 1500 horas de trabajo del equipo ya que no permanecen activadas todo el tiempo. De todas formas la potencia es suficiente para que la temperatura se mantenga, aún con 2 unidades fuera de servicio.

Se recomienda fabricar como equipo auxiliar un desionizador de agua, con el fin de utilizarlo para la alimentación del humidificador y la preparación de la solución salina.

De la misma manera se sugiere tener una báscula analítica a mano para el pesaje y comprobación del deterioro de las probetas.

## REFERENCIAS

Ascott. (s.f.). *Cámaras de corrosión para ensayos de niebla salina*. Recuperado el 2015, de [http://www.ascott-analytical.com/downloads/ssc\\_brochure\\_iss\\_c\\_spanish.pdf](http://www.ascott-analytical.com/downloads/ssc_brochure_iss_c_spanish.pdf)

B-117, A. (1997). *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*. ASTM International.

BLOG SPOT. (s.f.). Recuperado el 14 de 07 de 2015, de <http://medidasdedefensacontralacorrosion.blogspot.com/2012/06/medidas-de-proteccion-contr-la.htm>

Carlos A. Arias Córdoba, E. C. (Septiembre de 2007). *Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

desarrollo, I. y. (1967). *Cámaras de ensayos climáticos y de envejecimiento ambiental acelerado para reproducción y simulación en laboratorio de climas naturales o artificiales diseño*.

DeSouza, K. (April 4-8, 2004). *ASTM Prohesion Test Predicts Service Performance of Prepainted Steel Sheet*. Chicago: Galvatech '04 Conference, IL.

E. Calvo, C. A. (Abril 2007). *Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión*. Pereira.

EIS UVA. (s.f.). Recuperado el 16 de 08 de 2015, de <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/construccion/pinturas.html>

*Norma técnica Colombiana NTC 1156. Práctica para ensayo de niebla Salina*. . (1998). Bogotá.

UPIICSA. (s.f.). Recuperado el 07 de 07 de 2015, de [http://www.sites.upiicsa.ipn.mx/polilibros/portal/polilibros/P\\_terminados/procman-Aguilar-Oros/UMD/Unidad4/Contenido/4.b.htm](http://www.sites.upiicsa.ipn.mx/polilibros/portal/polilibros/P_terminados/procman-Aguilar-Oros/UMD/Unidad4/Contenido/4.b.htm)

Vocacional 2. (s.f.). Recuperado el 12 de 08 de 2015, de [http://vocacional2recubrimientos.blogspot.com/2012/10/v-behaviorurldefaultvmlo\\_22.html](http://vocacional2recubrimientos.blogspot.com/2012/10/v-behaviorurldefaultvmlo_22.html)

Vocacional 2. (s.f.). Recuperado el 08 de 07 de 2015, de [http://vocacional2recubrimientos.blogspot.com/2012/10/v-behaviorurldefaultvmlo\\_22.html](http://vocacional2recubrimientos.blogspot.com/2012/10/v-behaviorurldefaultvmlo_22.html)



## **ANEXOS**

### **ANEXO 1 Conjunto de la cámara**

**Figura 1.** Vista superior del tanque

**Figura 2.** Vista lateral del tanque disposición de agujeros

**Figura 3.** Vista superior de la cubierta

**Figura 4.** Porta Probeta

**Figura 5.** Drenaje

**Figura 6.** Rodachina

**Figura 7** Ensamble Mueble

### **ANEXO 2**

**Plano 1** Vista Isométrica De La Cámara

**Plano 2** Vista Isométrica De Agujeros En La Cámara.

### **ANEXO 3**

**Plano 1.** Diagrama Eléctrico De Potencia

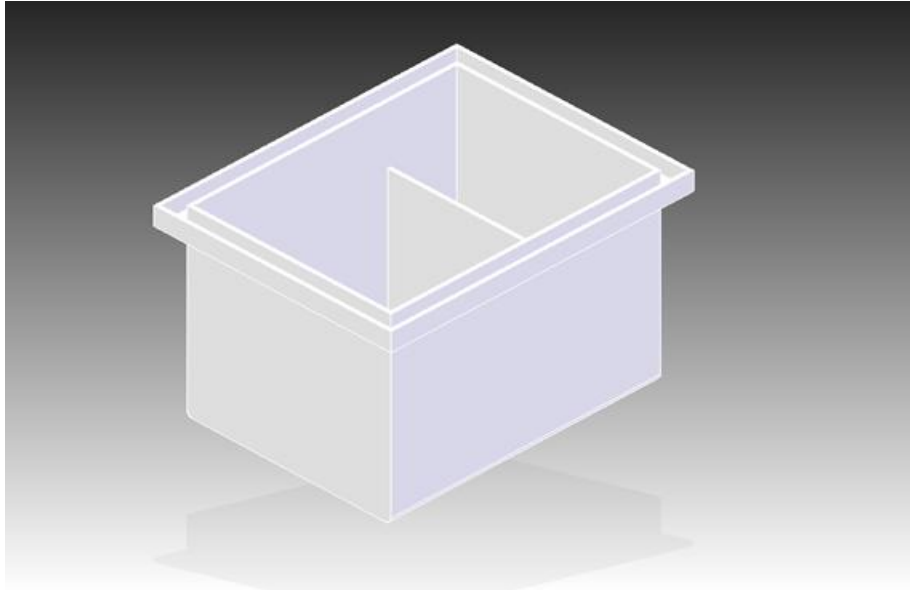
**Plano 2.** Diagrama Eléctrico De Mando

**Plano 3.** Conjunto Cámara

**Plano 4.** Conjunto Mueble Auto Soportado

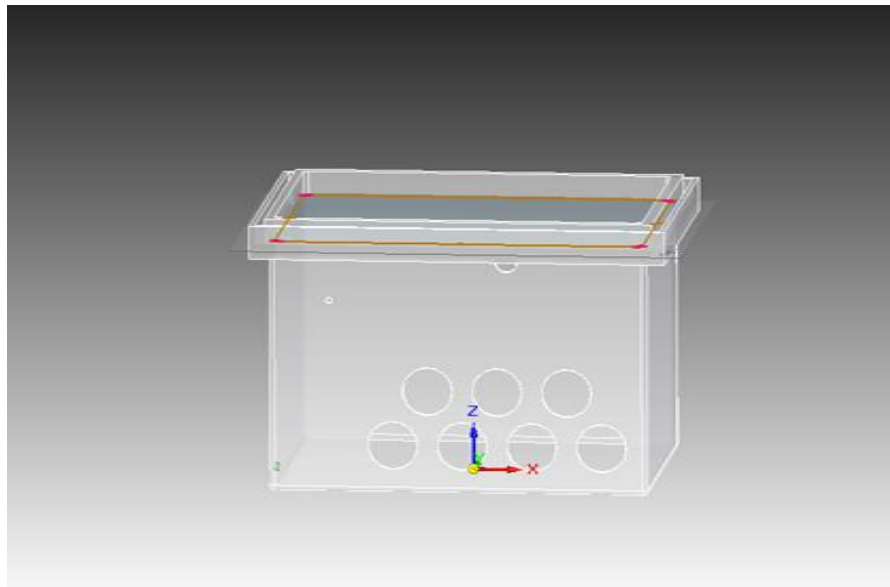
**ANEXO 1**

**CONJUNTO DE CAMARA**



**Figura 1. Vista superior del Tanque**

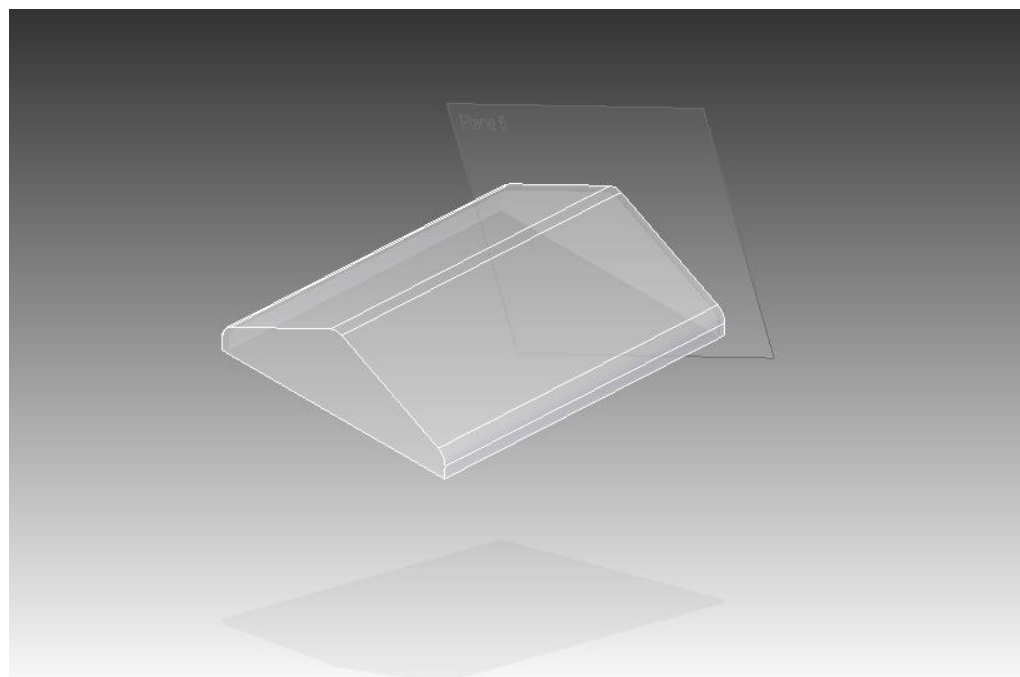
**Fuente:** Autores del proyecto



**Figura 2. Vista lateral del Tanque Disposición de Agujeros**

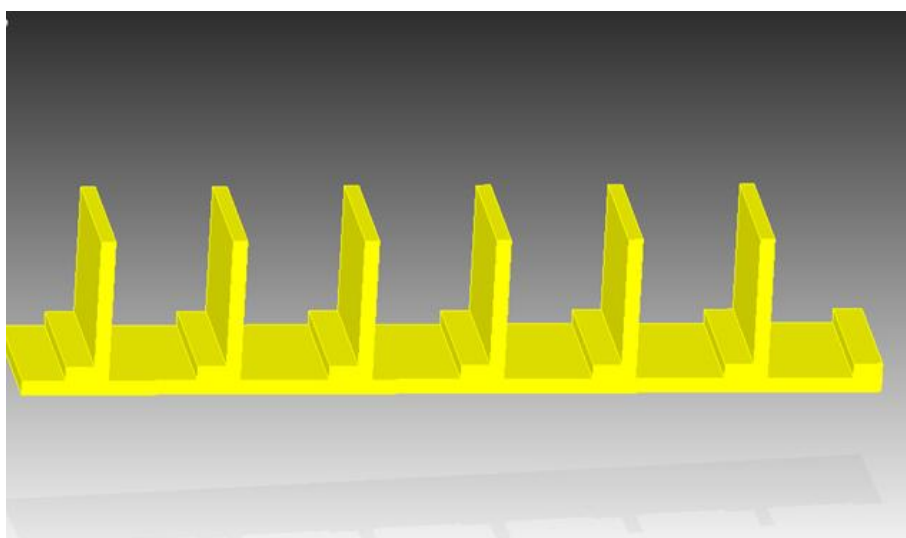
**Fuente:** Autores del proyecto

## CONJUNTO DE LA CAMARA



**Figura 3. Vista De La Cubierta**

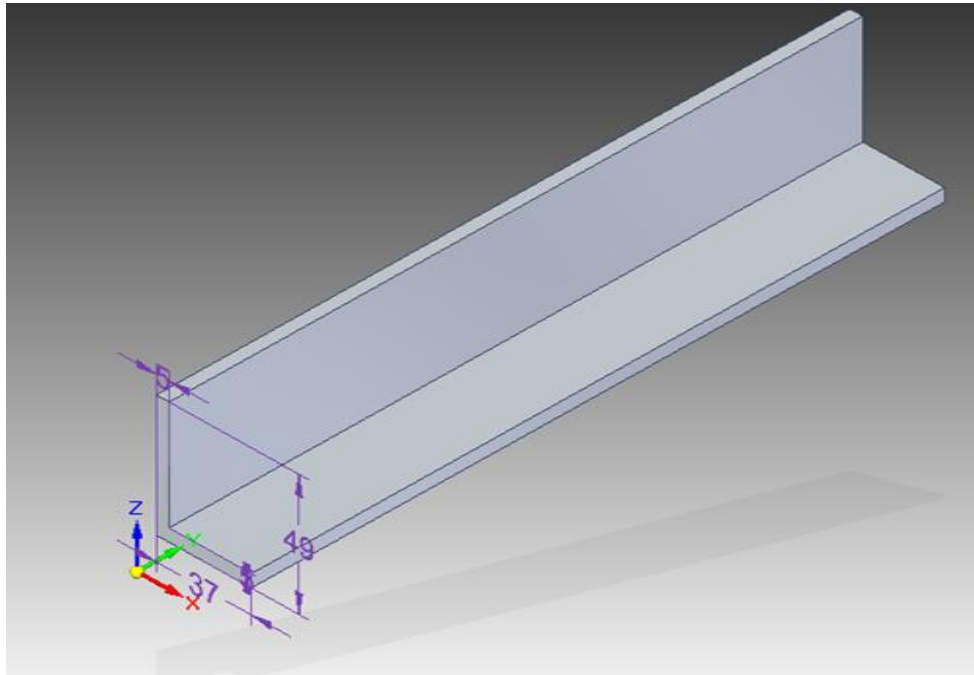
**Fuente:** Autores del proyecto



**Figura 4. Porta Probetas**

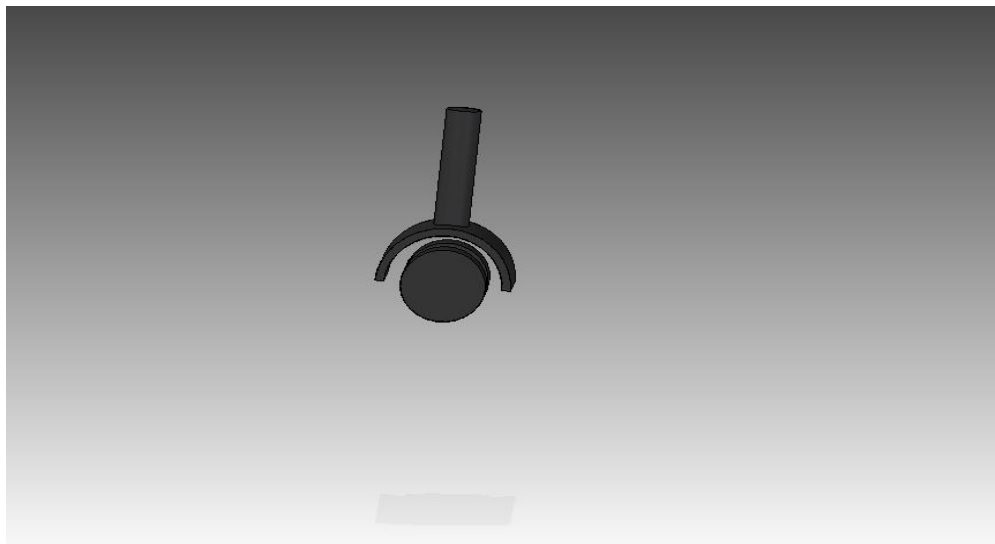
**Fuente:** Autores del proyecto

## CONJUNTO DE CAMARA



**Figura 5. Drenaje**

**Fuente:** Autores del proyecto



**Figura 6. Rodachina**

**Fuente:** Autores del proyecto

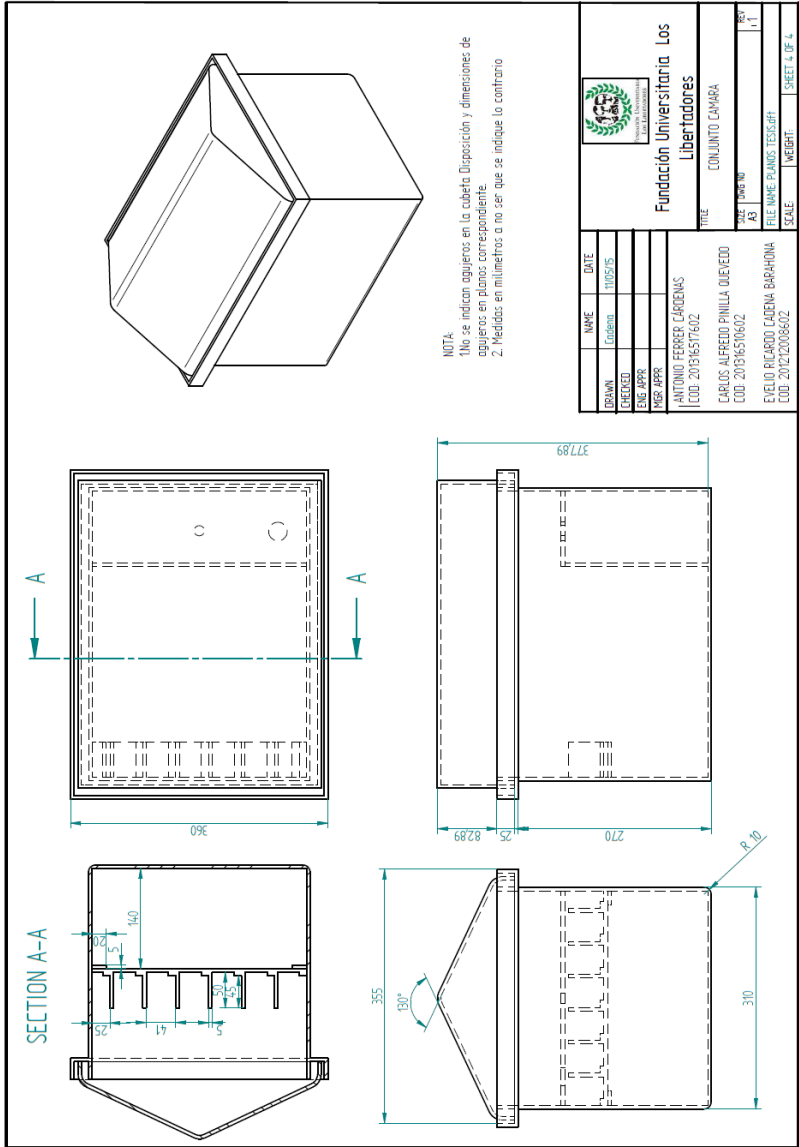
## CONJUNTO DE CAMARA



**Figura 7. Ensamble Mueble**

**Fuente:** Autores del proyecto

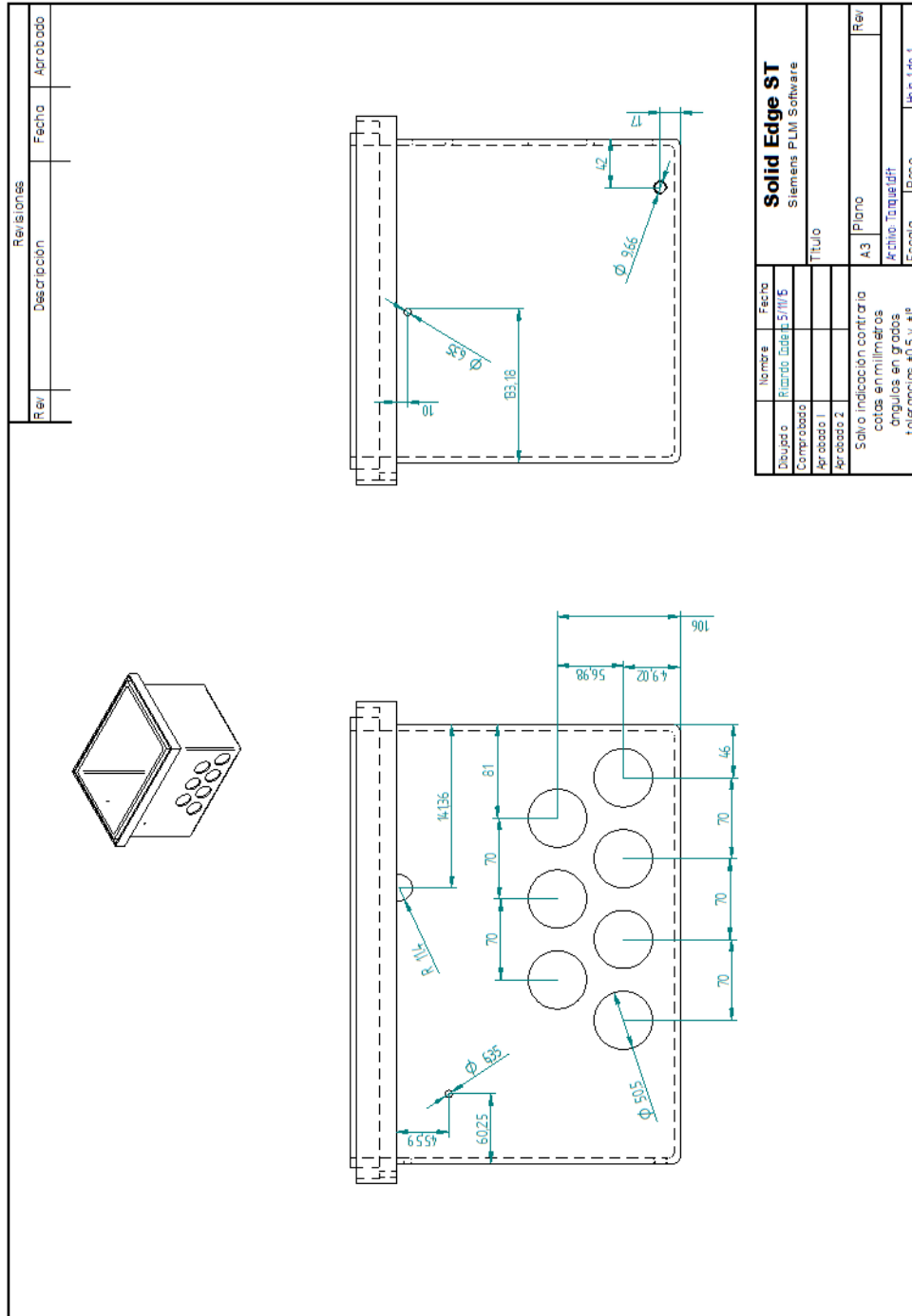
## ANEXO 2



### Plano 1. Vista Isométrica De La Cámara

**Fuente:** Autores del proyecto

## ANEXO 3



### Plano 2 Vista Isométrica De Agujeros En La cámara

**Fuente: Autores del proyecto  
Infografía imágenes**

- [https://www.google.com.co/search?q=corrosion+porpicaduras&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ\\_AUoAWoVChMI8PzJx4\\_CyAIVC9VjCh3JuA0y#tbm=isch&q=corrosion+por+%7Dgrietas&imgsrc=jVbFlyz3Kj5PvM%3A](https://www.google.com.co/search?q=corrosion+porpicaduras&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMI8PzJx4_CyAIVC9VjCh3JuA0y#tbm=isch&q=corrosion+por+%7Dgrietas&imgsrc=jVbFlyz3Kj5PvM%3A)
- [https://www.google.com.co/search?q=corrosion+porpicaduras&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ\\_AUoAWoVChMI8PzJx4\\_CyAIVC9VjCh3JuA0y#tbm=isch&q=corrosion+bajo+tension&imgsrc=nrFT\\_7XV0JupAM%3A](https://www.google.com.co/search?q=corrosion+porpicaduras&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMI8PzJx4_CyAIVC9VjCh3JuA0y#tbm=isch&q=corrosion+bajo+tension&imgsrc=nrFT_7XV0JupAM%3A)
- [https://www.google.com.co/search?q=corrosion+porpicaduras&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ\\_AUoAWoVChMI8PzJx4\\_CyAIVC9VjCh3JuA0y#tbm=isch&q=corrosion+erosiva&imgsrc=Cae3XP3KZI8kbM%3A](https://www.google.com.co/search?q=corrosion+porpicaduras&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMI8PzJx4_CyAIVC9VjCh3JuA0y#tbm=isch&q=corrosion+erosiva&imgsrc=Cae3XP3KZI8kbM%3A)
- [https://www.google.com.co/search?q=corrosion+porpicaduras&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ\\_AUoAWoVChMI8PzJx4\\_CyAIVC9VjCh3JuA0y#tbm=isch&q=corrosion+por+cavitacion+&imgdii=Vp0leafFZBexNM%3A%3BVp0leafFZBexNM%3A%3BNj0CE9N028I9mM%3A&imgsrc=Vp0leafFZBexNM%3A](https://www.google.com.co/search?q=corrosion+porpicaduras&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMI8PzJx4_CyAIVC9VjCh3JuA0y#tbm=isch&q=corrosion+por+cavitacion+&imgdii=Vp0leafFZBexNM%3A%3BVp0leafFZBexNM%3A%3BNj0CE9N028I9mM%3A&imgsrc=Vp0leafFZBexNM%3A)
- [https://www.google.com.co/search?q=corrosion+porpicaduras&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ\\_AUoAWoVChMI8PzJx4\\_CyAIVC9VjCh3JuA0y#tbm=isch&q=corrosion+por+desgaste&imgsrc=nwmT842S52VnDM%3A](https://www.google.com.co/search?q=corrosion+porpicaduras&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMI8PzJx4_CyAIVC9VjCh3JuA0y#tbm=isch&q=corrosion+por+desgaste&imgsrc=nwmT842S52VnDM%3A)
- [https://www.google.com.co/search?q=corrosion+porpicaduras&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ\\_AUoAWoVChMI8PzJx4\\_CyAIVC9VjCh3JuA0y#tbm=isch&q=corrosion+selectiva&imgsrc=0pATXZEJXuMPJM%3A](https://www.google.com.co/search?q=corrosion+porpicaduras&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMI8PzJx4_CyAIVC9VjCh3JuA0y#tbm=isch&q=corrosion+selectiva&imgsrc=0pATXZEJXuMPJM%3A)
- [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)  
<http://campus.fi.uba.ar/mod/resource/view.php?id=19417&redirect=1>